



ΑΓΡΟΓΗΣ

& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ.

281

Ημερομηνία

2-9-2009

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής &
Αγροτικού Περιβάλλοντος

**<< Μελέτη της επίδρασης παθητικού
ηλιακού συστήματος θέρμανσης στην
ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής
καλλιέργειας τομάτας. >>**

Πτυχιακή Διατριβή
Τσετσελίδου Μαρία

Επιβλέπων Καθηγητής
Κατσούλας Νικόλαος

Βόλος, 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	7897/1
Ημερ. Εισ.:	09-12-2009
Δωρεά:	Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ – ΦΠΑΠ
	2009
	ΤΣΕ

**Μελέτη της επίδρασης παθητικού ηλιακού συστήματος
θέρμανσης στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής
καλλιέργειας τομάτας.**



Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

N. Κατσούλα (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Λέκτορας
Γεωργικές Κατασκευές
με έμφαση στο περιβάλλον θερμοκηπίου

K. Κίττας (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές

M. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγήτρια
Αρδεύσεων- Στραγγίσεων και
Υδραυλικής

Περίληψη

Η καλλιέργεια των κηπευτικών στα θερμοκήπια είναι ευρύτατα διαδεδομένη. Ένας από τους πιο σημαντικούς κλιματολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την απόδοση των φυτών είναι η θερμοκρασία. Υπάρχουν διάφορα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες ασχολούνται αρκετά με την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας.

Ένα από τα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης το οποίο χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια.

Κατά την πειραματική διαδικασία, για τη μελέτη της επίδρασης ενός παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας που αναπτύσσονταν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου.

Στο ένα θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης υπήρχαν πλαστικοί σωλήνες στο έδαφος κατά μήκος του θερμοκηπίου και των γραμμών φύτευσης της καλλιέργειας καθώς και αερόθερμο, ενώ στο άλλο υπήρχε μόνο η συμβατική θέρμανση του θερμοκηπίου.

Οι μετρήσεις αφορούσαν τόσο την ανάπτυξη των φυτών, την παραγόμενη βιομάζα, την παραγωγή καρπών και τις κλιματικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φυτά δεν επηρεάζονται από την παρουσία του παθητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης, καθώς δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης επηρέασε το μέγεθος των καρπών, καθώς τα φυτά του θερμοκηπίου αυτού εμφάνισαν μεγαλύτερους καρπούς.

Ευχαριστίες

Εκφράζω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου, στον κ. Κατσούλα Νικόλαο Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με θέμα που εμπίπτει στο γνωστικό αντικείμενο των Γεωργικών Κατασκευών, καθώς και για την ηθική και υλικοτεχνική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων και συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κίττα Κωνσταντίνο Καθηγητή Γεωργικών Κατασκευών καθώς και την κ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία Καθηγήτρια Αρδεύσεων, Στραγγίσεων και Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης, ιδιαίτερα τον κ. Δημόκα Γεώργιο, υποψήφιο διδάκτορα, για την ηθική συμπαράσταση, τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και την πολύτιμη συμβολή του στην αρτιότερη οργάνωση του πειράματος και τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής διατριβής, η οποία και υπήρξε καθοριστική.

Τέλος, αλλά όχι λιγότερο, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους ήταν και είναι δίπλα μου για την ηθική υποστήριξη και τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της διατριβής.

Στη μητέρα μου και ιδιαίτερα στο πατέρα μου
ΤΣΕΤΣΕΛΙΔΗ ΠΡΟΔΡΟΜΟ

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο. Γενική Εισαγωγή	9
1.1. Ενέργεια και μικροκλίμα στα θερμοκήπια	10
1.1.1. Γενική εισαγωγή για τη χρήση της ενέργειας στα θερμοκήπια	10
1.1.2. Εξοικονόμηση ενέργειας	11
1.1.3. Συστήματα Θέρμανσης	11
1.1.3.1. Αερόθερμα	11
1.1.3.2. Επιδαπέδια	12
1.1.4. Ενεργειακά προβλήματα των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης	13
1.1.5. Παθητικό σύστημα θέρμανσης	13
1.1.6. Θέρμανση με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας	14
1.1.6.1. Υλικά αποθήκευσης θερμότητας	14
1.1.6.2. Περιγραφή του συστήματος	15
1.1.6.3. Παθητικό ηλιακό σύστημα με διαφανείς σωλήνες γεμάτους νερό	15
1.2. Συστήματα καλλιέργειας	17
1.2.1. Γενικά για την υδροπονία	17
1.2.2. Οι εγκαταστάσεις παρασκευής και κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος	18
1.2.2.1. Τα δοχεία με τα διαλύματα αλάτων	18
1.2.2.2. Η δεξαμενή παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος	18
1.2.2.3. Τα αυτόματα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης	19
1.2.2.4. Οι τροφοδοτικές αντλίες	19
1.2.2.5. Οι αγωγοί	19
1.2.3. Υποδοχείς φυτών και υποστρωμάτων – εδαφοκάλυψη	20
1.2.4. Υποστρώματα υδροπονίας	20
1.2.4.1. Συστήματα χωρίς υπόστρωμα	20
1.2.4.2. Συστήματα με υπόστρωμα	21
1.2.5. Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της ανάπτυξης των φυτών σε τεχνητό περιβάλλον	22
1.2.5.1. Μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας	23
1.2.5.2. Πλεονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας	23
1.3. Το φυτό της τομάτας	24
1.3.1. Γενικά	24
1.3.2. Περιγραφή του φυτού	25
1.3.3. Η χρησιμότητα της τομάτας στη ζωή μας	26
1.3.4. Εναλλακτικοί τύποι τομάτας στην Ελλάδα	27
1.4. Η καλλιέργεια και οι αποδόσεις της τομάτας σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και ελλαδικό επίπεδο.	28
1.4.1. Η καλλιέργεια τομάτας στον κόσμο, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα	28
1.4.2. Έκταση σε στρέμματα καλλιέργεια τομάτας ανά ήπειρο	31
1.4.3. Παραγωγή τομάτας σε τόνους ανά ήπειρο	31
1.4.4. Καλλιεργούμενη έκταση τομάτας στην Ελλάδα	32
1.4.5. Παραγωγή τομάτας σε τόνους στην Ελλάδα	32
1.4.6. Αποδόσεις καλλιέργειας τομάτας σε κιλά ανά στρέμμα στην Ελλάδα	33
Κεφάλαιο 2^ο. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	34
2.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	35
2.2.1. Εισαγωγή	35

2.2.2. Χρήσεις παθητικού συστήματος θέρμανσης.....	35
Κεφάλαιο 3^ο. Υλικά & Μέθοδοι	45
3.1. Το θερμοκήπιο.....	46
3.2. Αερισμός	47
3.3.. Θέρμανση.....	47
3.4. Καλλιέργεια	49
3.4.1. Υπόστρωμα	49
3.4.2. Άρδευση- Λίπανση.....	49
3.4.3. Εγκατάσταση της καλλιέργειας και καλλιεργητικές επεμβάσεις.....	50
3.5. Κλιματικές Μετρήσεις	51
3.5.1. Μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον.....	51
3.5.2. Μετρήσεις στο εσωτερικό περιβάλλον	51
3.6. Βιολογικές Μετρήσεις	53
3.6.1. Καταστροφικές μετρήσεις καρπών	53
3.6.2. Καταστροφικές μετρήσεις ολόκληρου του φυτού	53
3.6.3. Απομάκρυνση των φύλλων	55
3.7. Μετρήσεις Ανάπτυξης των Μορφολογικών χαρακτηριστικών	56
3.7.1. Ολόκληρου του φυτού.....	56
3.7.2. Φύλλων.....	57
3.8. Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων.....	57
Κεφάλαιο 4^ο. Αποτελέσματα	58
4.1. Μελέτη κλιματικών δεδομένων	59
4.1.1. Μετρήσεις θερμοκρασίας νερού σωλήνων παθητικού ηλιακού συστήματος	59
4.1.2. Μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα θερμοκηπίου και διάτρητου σωλήνα.....	62
4.2. Ανάπτυξη φυτών τομάτας	66
4.2.1. Μήκος φυτών τομάτας	66
4.2.2. Αριθμός σχηματιζόμενων, αφαιρούμενων και πραγματικών φύλλων	66
4.2.3. Αριθμός ταξιανθιών, κόμβων.....	68
4.2.4. Αριθμός ανθέων και πράσινων καρπών	69
4.3. Παραγωγή βιομάζας	71
4.3.1. Χλωρό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών.....	71
4.3.2. Φυλλική επιφάνεια	72
4.3.3. Χλωρό και ξηρό βάρος ανθέων και καρπών	73
4.3.4. Συνολικό χλωρό και ξηρό βάρος φυτού τομάτας.....	75
4.4. Παραγωγή καρπών	76
4.4.1. Χλωρό και ξηρό βάρος ώριμων καρπών.....	76
4.4.2. Αριθμός και μέσο βάρος ώριμων καρπών.....	77
Κεφάλαιο 5^ο. Συμπεράσματα	78
5.1. Κλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων.....	79
5.1.1. Μετρήσεις θερμοκρασίας νερού σωλήνων παθητικού ηλιακού συστήματος	79
5.1.2. Μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα θερμοκηπίου και διάτρητου σωλήνα.....	79
5.2. Ανάπτυξης φυτών τομάτας.....	79
5.2.1. Μήκος φυτών τομάτας	79
5.2.2. Αριθμός σχηματιζόμενων, αφαιρούμενων και πραγματικών φύλλων	80
5.2.3. Αριθμός ταξιανθιών, κόμβων.....	80
5.2.4. Αριθμός ανθέων και πράσινων καρπών	80
5.3. Παραγωγής βιομάζας.....	81
5.3.1. Χλωρό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών.....	81

5.3.2. Φυλλική επιφάνεια	81
5.3.3. Χλωρό και ξηρό βάρος ανθέων και καρπών	81
5.3.4. Συνολικό χλωρό και ξηρό βάρος φυτού τομάτας.....	81
5.4. Παραγωγής καρπών.....	81
5.4.1. Χλωρό και ξηρό βάρος ώριμων καρπών	81
5.4.2. Αριθμός και μέσο βάρος ώριμων καρπών.....	82
Βιβλιογραφία	83
Παράρτημα	86

Κεφάλαιο 1^ο. Γενική Εισαγωγή



1.1. Ενέργεια και μικροκλίμα στα θερμοκήπια

1.1.1. Γενική εισαγωγή για τη χρήση της ενέργειας στα θερμοκήπια

Το θερμοκήπιο από την ίδια του την κατασκευή αποτελεί ένα παθητικό σύστημα συλλογής ενέργειας. Στη διάρκεια της ημέρας, κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους, η ηλιακή ενέργεια που δέχεται στο εσωτερικό του είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή θερμοκρασία. Κάποιες όμως κρύες μέρες του χειμώνα, η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να καλύψει πλήρως τις απώλειες του θερμοκηπίου σε θερμότητα. Για το λόγο αυτό, να διατηρηθεί δηλαδή η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό πρέπει να προσθέσουμε ένα συγκεκριμένο ποσό θερμότητας από κάποιο σύστημα θέρμανσης.

Όσον αφορά τη νύχτα όμως, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανύπαρκτη, το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας που απαιτείται για να διατηρεί τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε συγκεκριμένα επίπεδα προέρχεται από συστήματα θέρμανσης. Ένα ποσό θερμότητας της τάξης του 10-15% προέρχεται από την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στο έδαφος κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η προσπάθεια που γίνεται για τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αντί των συμβατικών καυσίμων, για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι για τρεις λόγους:

- ✚ Για οικονομικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος της θέρμανσης του θερμοκηπίου,
- ✚ Για τη μείωση της καταστροφής των φυσικών πόρων του πλανήτη μας, και
- ✚ Για τη μείωση της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα αέρια της καύσης των συμβατικών καυσίμων.

Η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι πράγματι μια ελκυστική λύση διότι αποτελεί μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και συχνά εύκολα προσιτή. Το συνηθέστερο πρόβλημα όμως προκύπτει από το γεγονός ότι είναι διαθέσιμη μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και η ποσότητά της μεταβάλλεται ανάλογα με τις εποχές του χρόνου, με αποτέλεσμα να μην συγχρονίζεται η ζήτηση της ενέργειας για θέρμανση, που είναι κυρίως τη νύχτα και το χειμώνα (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως τα παρακάτω μέσα:

- ✚ Ξεχωριστοί ηλιακοί συλλέκτες (αέρα ή νερού) που τοποθετούνται έξω από το θερμοκήπιο,
- ✚ Ηλιακοί συλλέκτες που αποτελούν στοιχεία της κατασκευής του θερμοκηπίου, όπως για παράδειγμα θερμοκήπιο με διπλό τοίχωμα, στο εσωτερικό του οποίου κυκλοφορεί διάλυμα που απορροφά την υπέρυθρη μόνο ακτινοβολία, και
- ✚ Το ίδιο το θερμοκήπιο, με τη χρησιμοποίηση της περίσσειας θερμότητας που συχνά συμβαίνει στον ίδιο χώρο του κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μέσα:

Νερό σε δεξαμενές, ηλιακές λίμνες, πέτρες και χαλίκια, έδαφος, υλικά αλλαγής φάσης. Οι πέτρες και τα χαλίκια είναι ταυτόχρονα και στοιχεία αποθήκευσης και εναλλάκτες θερμότητας, είναι όμως οπωσδήποτε ογκώδη υλικά.

1.1.2. Εξοικονόμηση ενέργειας

Οι επεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε για εξοικονόμηση ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου, αφορούν τρεις τομείς:

- ✚ Τη βελτίωση της κατασκευής του θερμοκηπίου, με σκοπό να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες όσο το δυνατό περισσότερο, χωρίς να υποβαθμιστεί σοβαρά το επιθυμητό περιβάλλον για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών,
- ✚ Την προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στο πνεύμα της εξοικονόμησης ενέργειας, και
- ✚ Τη σωστή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.

Γενικά για να γίνει δυνατή η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και κατά τη διάρκεια της νύχτας, θα πρέπει να προηγηθούν:

1. η συλλογή της ηλιακής ενέργειας (μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα),
2. η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, και
3. η εγκατάσταση ενός συστήματος διανομής της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1.1.3. Συστήματα Θέρμανσης

Ένα σύστημα θέρμανσης για να είναι κατάλληλο για το θερμοκήπιο πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις:

- Να εξασφαλίζει την κατάλληλη θερμοκρασία που χρειάζονται οι καλλιέργειες.
- Να διανέμει τη θερμότητα ομοιόμορφα στο θερμοκήπιο.
- Να χρησιμοποιεί οικονομικά καύσιμα υλικά τα οποία βρίσκονται εύκολα στην περιοχή.
- Να είναι εγγυημένης κατασκευής για να μην κινδυνεύουν από πιθανή βλάβη του οι καλλιέργειες.
- Να επισκευάζονται εύκολα (Ανώνυμος, 1999).

1.1.3.1. Αερόθερμα

Η θέρμανση με αερόθερμα χρησιμοποιείται πολύ στο θερμοκήπιο, διότι η αρχική εγκατάσταση στοιχίζει λιγότερο απ' ό,τι η θέρμανση με ζεστό νερό. Έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείται εύκολα και δεν παρουσιάζει αδράνεια αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου. Σε πολύ μικρό χρόνο από τότε που ο θερμοστάτης θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει, θερμαίνεται ο αέρας του θερμοκηπίου. Ο χρόνος αυτός στα συστήματα που χρησιμοποιούν ζεστό νερό για τη μεταφορά της θερμότητας, είναι αρκετά μεγάλος. Σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων θέρμανσης με αερόθερμα είναι ότι δε θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος και έχει πρόβλημα το ριζόστρωμα. Επειδή υπάρχει έντονη κυκλοφορία του

αέρα, ο συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου με συναγωγή γίνεται μεγαλύτερος (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

Τα αερόθερμα ανήκουν στα συμβατικά, τοπικά συστήματα θέρμανσης. Ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται, τα αερόθερμα διακρίνονται στις εξής ομάδες:

- Ηλεκτρικά αερόθερμα.
- Αερόθερμα πετρελαίου, αερίου ή στερεών καυσίμων.

Στην αγορά κυκλοφορούν αερόθερμα για κατακόρυφη ή οριζόντια μετακίνηση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Τα κατακόρυφης μεταφοράς παρουσιάζουν σχετική ανομοιομορφία θέρμανσης χώρου με αποτέλεσμα ανομοιομορφία στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτό το πρόβλημα περιορίζεται με τα οριζόντιας μεταφοράς αερόθερμα, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα συχνότερα. Άλλα προβλήματα που έχουν τα αερόθερμα είναι η υπερβολική κατανάλωση O_2 για την καύση και τα καυσαέρια. Γι' αυτό τα καλά αερόθερμα παίρνουν τον αέρα καύσης με σωλήνες από τον εξωτερικό χώρο και η καπνοδόχος είναι πάνω από το θερμοκήπιο, αρκετά ψηλή ώστε να μην επιστρέφει ο καπνός στο θερμοκήπιο.

Ο ζεστός αέρας στα μικρά θερμοκήπια κατανέμεται στο χώρο απ' ευθείας από την έξοδο του αερόθερμου, ενώ στα μεγάλα, για πιο ομοιόμορφη κατανομή, μεταφέρεται με σωλήνες που φέρουν κατά μήκος τρύπες απ' όπου βγαίνει και ανακατεύεται με το γύρω αέρα (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1.1.3.2. Επιδαπέδια

Στα συστήματα αυτά η θερμότητα παράγεται στον καυστήρα και μεταφέρεται με νερό ή με ατμό που οδηγείται στο θερμοκήπιο με σωληνώσεις. Ο καυστήρας τοποθετείται σε σταθερή θέση μέσα ή έξω από το θερμοκήπιο. Με το σύστημα αυτό θερμαίνεται ομοιόμορφα ο αέρας και το έδαφος του θερμοκηπίου, υπάρχει όμως και το μειονέκτημα της μεγάλης αδράνειας. Τα συστήματα αυτά είναι καταλληλότερα για υαλόφρακτα θερμοκήπια με εμβαδόν πάνω από 8 στρέμματα γιατί η λειτουργία και η συντήρησή τους, σχετικά με τη χρήση πολλών αερόθερμων, είναι φθηνότερη (Ανώνυμος, 1999).

Το σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίων με την κυκλοφορία ζεστού νερού είναι αξιόπιστο, ρυθμίζεται εύκολα με θερμοστάτη, δεν αφήνει καυσαέρια στο χώρο ανάπτυξης των φυτών και δίνει μεγάλα ποσά θερμότητας. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι, ότι δεν ενδείκνυται η εφαρμογή του σε θερμοκήπια που σκεπάζονται με πλαστικό πολυαιθυλένιο, επειδή μεγάλο μέρος της θερμότητας παρέχεται με ακτινοβολία, που είναι διαπερατή από τα πλαστικά (Γραφιαδέλλης, 1987).

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες στην επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στο μικροκλίμα των θερμοκηπίων. Διαπιστώθηκε ότι η θέση, το υλικό και το είδος των σωληνώσεων επηρεάζουν αρκετά την κατανομή της θερμότητας και επομένως την αύξηση και την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Σπουδαίο ρόλο στην απόκτηση ομοιόμορφης θέρμανσης παίζει ή θέση που θα τοποθετηθούν οι σωλήνες διανομής. Οι κεντρικές σωληνώσεις τοποθετούνται χαμηλά για να μη σκιάζουν και στην περιφέρεια του θερμοκηπίου διότι σ' αυτές τις περιοχές η θερμότητα χάνεται πιο γρήγορα. Οι σωληνώσεις θέρμανσης με ζεστό νερό θα πρέπει να κατευθύνονται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών για να μην εμποδίζουν τις εργασίες (Ανώνυμος, 1999).

1.1.4. Ενεργειακά προβλήματα των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης

Η παγκόσμια οικονομία, εξαρτάται άμεσα από το ενεργειακό πρόβλημα, το οποίο είναι το κυριότερο πρόβλημα της σημερινής εποχής. Τα θερμοκήπια μέχρι τώρα σχεδιαζόταν και κατασκευαζόταν ώστε να παρέχουν στις καλλιέργειες τις απαραίτητες συνθήκες περιβάλλοντος και όχι να εξοικονομούν ενέργεια. Η πετρελαϊκή κρίση όμως ανάγκασε τους ερευνητές και τους καλλιεργητές να καταβάλουν έντονες προσπάθειες για εξοικονόμηση ενέργειας. Για την εξοικονόμηση ενέργειας λοιπόν, στο χώρο του θερμοκηπίου, οι επεμβάσεις που μπορούμε να κάνουμε αφορούν τρεις τομείς:

- ✚ Αρχικά, στη βελτίωση της κατασκευής του θερμοκηπίου με σκοπό να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες όσο το δυνατόν περισσότερο, χωρίς να υποβαθμιστεί σοβαρά το επιθυμητό περιβάλλον για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών,
- ✚ την προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στο πνεύμα της εξοικονόμησης ενέργειας, και
- ✚ τέλος, τη σωστή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης.

Η αλματώδη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης οφείλεται στη μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και των οικονομικών δραστηριοτήτων και στη βελτίωση του οικονομικού επιπέδου. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί κατά 35-45% μέσα στην επόμενη δεκαπενταετία (Γραφιαδέλλης, 1987).

1.1.5. Παθητικό σύστημα θέρμανσης

Οι κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας και η μεγάλη ηλιοφάνεια, σε συνδυασμό με την 'ενεργειακή ευαισθησία' της οικονομίας μας, αποτελούν καλές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με ηλιακή ενέργεια (Γραφιαδέλλης, 1987).

Το πρόβλημα της χρήσης της ηλιακής ενέργειας έγκειται στο γεγονός ότι δεν είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της νύχτας και μεταβάλλεται ποσοτικά με το χρόνο. Για να γίνει λοιπόν δυνατή η αξιοποίησή της και κατά τη διάρκεια της νύχτας θα πρέπει:

- Η ηλιακή ενέργεια να μετατραπεί σε θερμική.
- Να γίνει αποθήκευση της θερμικής ενέργειας ώστε να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα.

Η μετατροπή αυτή γίνεται είτε με ηλιακούς συλλέκτες ατμού ή νερού που τοποθετούνται εκτός του θερμοκηπίου, είτε με ηλιακό συλλέκτη που αποτελεί στοιχείο της κατασκευής του θερμοκηπίου. Για την αποθήκευση της ενέργειας συνήθως χρησιμοποιούνται νερό σε δεξαμενές, ηλιακές λίμνες, πέτρες και χαλίκια, έδαφος κ.α (Ανώνυμος, 1999).

Υπάρχουν δύο ειδών ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα (θέρμανση νερού με ηλιακούς συλλέκτες) και τα παθητικά ηλιακά συστήματα (βιοκλιματική αρχιτεκτονική). Οι παθητικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας συνίστανται στη χρήση κατασκευαστικών στοιχείων των θερμοκηπίων για τη συλλογή και την αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1.1.6. Θέρμανση με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Ο πρώτος άνθρωπος που εισήγαγε την ιδέα για τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας λέγεται ότι ήταν ο Αρχιμήδης. Οι πρώτες προσπάθειες για την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας ξεκίνησαν λόγω της κρίσης του πετρελαίου το 1973. Η βασική φιλοσοφία του συγκεκριμένου τύπου θερμοκηπίου είναι, να αφήσουμε να μπει μέσα στο θερμοκήπιο όσο το δυνατόν πιο πολύ ο ήλιος, να τον αποθηκεύσουμε και να τον αφήσουμε να φύγει όσο το δυνατόν λιγότερο. Τα παραδοσιακά θερμοκήπια δεν είναι κατασκευασμένα για εξοικονόμηση ενέργειας.

Η αποθήκευση ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια θερμικών μαζών. Οι θερμικές μάζες έχουν το ρόλο του ρυθμιστή θερμοκρασίας και επιπλέον βοηθούν στην αδράνεια του θερμοκηπίου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Έχουν:

- ✚ Μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο
- ✚ Υψηλό κόστος

Για να αντιμετωπίσουμε, σε κάποιο βαθμό, αυτά τα προβλήματα θα μπορούσαμε:

- ✚ Να μονώσουμε τις θεμελιώσεις, αφού το έδαφος στο θερμοκήπιο παίζει το ρόλο της θερμικής αποθήκευσης.
- ✚ Να τοποθετήσουμε τις μάζες (οι οποίες μπορεί να είναι σκούρου χρώματος βαρέλια ή μικρά πετόνια, μικρών διαστάσεων σε κυβικό ή παραλληλεπίπεδο σχήμα, ώστε να πιάνουν όσο το δυνατό μικρότερο χώρο) κάτω από τα τραπέζια εργασίας. Αν η καλλιέργεια είναι στο έδαφος, τότε τοποθετούνται κατά μήκος του βόρειου τοίχου (αν αυτός προσβάλλεται από τις ακτίνες του ήλιου.).
- ✚ Να δεχτούμε ένα έμμεσο σύστημα αποθήκευσης. Με το οποίο η θερμότητα, με τη μορφή ζεστού αέρα, να συγκεντρώνεται στο επάνω μέρος του θερμοκηπίου και να αποθηκεύεται σε στρώμα χαλικιών κάτω από το χώρο που καλλιεργούμε. Τα χαλίκια θα πρέπει να πλυθούν με εκτόξευση νερού, να τα αφήσουμε να στεγνώσουν τελείως και να τοποθετηθούν στη θέση τους.
- ✚ Να χρησιμοποιήσουμε σα μέσο παραγωγής, εκτός από θερμικές μάζες, το νερό. Τότε γεμίζουμε το δοχείο με νερό μέχρι 90%, προσθέτουμε ένα υλικό αντιοξειδωτικό (αν τα δοχεία είναι μεταλλικά) και τα κλείνουμε ερμητικά (Γραφιαδέλλης, 1987).

1.1.6.1. Υλικά αποθήκευσης θερμότητας

Έχουμε τρεις τύπους υλικών αποθήκευσης θερμότητας:

- Το νερό
- Οικοδομικά, πέτρες, χαλίκια
- Υλικά αλλαγής φάσης.

Το νερό, οι πέτρες και τα οικοδομικά υλικά αποθηκεύουν την θερμότητα υπό μορφή αισθητή που σημαίνει ότι έχουμε πολύ αύξηση της θερμοκρασίας χωρίς αλλαγή της κατάστασής τους, δηλαδή το νερό μένει ρευστό και οι πέτρες μένουν στερεές.

Τα υλικά αλλαγής φάσης, αντίθετα, αποθηκεύουν τη θερμότητα υπό λανθάνουσα μορφή, δηλαδή το υλικό αλλάζει κατάσταση υπό την ενέργεια της θερμότητας. Για παράδειγμα η παραφίνη λιώνει, περνάει από τη στερεά κατάσταση στην υγρή και κάνοντας αυτό αποταμιεύει θερμότητα. Το πιο πρακτικό υλικό από τα προαναφερθέντα είναι το νερό λόγω του μικρού κόστους με εξαιρετική χωρητικότητα σε θερμίδες (1Kg νερού αποθηκεύει 1Kcal ανά βαθμό ανύψωσης της θερμοκρασίας).

1.1.6.2. Περιγραφή του συστήματος

Τα τρία κύρια μέρη του συστήματος ηλιακής θέρμανσης είναι:

- (1) οι πλαστικοί σάκοι που λειτουργούν ως ηλιακοί συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της ημέρας και ως μέσα ανταλλαγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας,
- (2) η αποθήκευση καυτού νερού και
- (3) η αντλία, το σύστημα διανομής σωλήνων και οι ηλεκτρονικοί έλεγχοι (Μαυρογιαννόπουλος, 1990).

1.1.6.3. Παθητικό ηλιακό σύστημα με διαφανείς σωλήνες γεμάτους νερό

Χρησιμοποιούνται διαφανείς σωλήνες, μεγάλης διαμέτρου (0,5-0,75m), λεπτών τοιχωμάτων, γεμάτοι νερό, που τοποθετούνται μεταξύ των γραμμών των φυτών μέσα στο θερμοκήπιο και ενεργούν ως παθητικό σύστημα θέρμανσης. Την ημέρα θερμαίνεται το νερό που περιέχουν οι σάκοι, κυρίως από τη θερμική και ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σ' αυτό, αλλά και με συναγωγή από το θερμότερο αέρα του θερμοκηπίου. Το βράδυ αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου με θερμική ακτινοβολία και συναγωγή. Η απόδοση αυτού του συστήματος είναι μικρή το χειμώνα, ιδιαίτερα όταν τα φυτά είναι μεγάλου ύψους οπότε δεν υπάρχει πολλή διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία κάτω από αυτά. Τις άλλες εποχές η απόδοση γίνεται μεγαλύτερη.

Στο υπέδαφος του θερμοκηπίου, σε βάθος 1-2 m εγκαθίστανται εναλλάκτης θερμότητας εδάφους-αέρα που αποτελείται συνήθως από πλαστικούς σωλήνες μικρού πάχους και διαμέτρου 0,2-0,4m.

Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμίζεται με κυκλοφορία του αέρα του θερμοκηπίου σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το σύστημα του εναλλάκτη. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με τη λειτουργία ανεμιστήρων οποτεδήποτε η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία ή υπερβεί τη μέγιστη επιθυμητή. Επειδή η θερμοκρασία του υπεδάφους μεταβάλλεται πολύ λίγο και με χρονική υστέρηση κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και είναι συνήθως υψηλότερη από την επιθυμητή και χαμηλότερη από τη μέγιστη επιθυμητή του αέρα του θερμοκηπίου, ο αέρας που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη όταν έχει χαμηλή θερμοκρασία αποσπά ενέργεια από το υπέδαφος, ενώ όταν έχει υψηλή θερμοκρασία αποδίδει ενέργεια στο υπέδαφος.

Κατά τον τρόπο αυτό το υπέδαφος χρησιμοποιείται ως φθηνή αποθήκη ενέργειας που ταυτόχρονα αποθηκεύει και με φυσικό τρόπο ενέργεια από το καλοκαίρι μέχρι το χειμώνα. Οποτεδήποτε το ύψος της ελάχιστης θερμοκρασίας που μπορεί να διατηρηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου το χειμώνα για τις συνθήκες της χώρας μας, δεν είναι συνήθως μεγαλύτερο των 12°C.

Το σύστημα συλλέγει την υπερβολή της ενέργειας στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας και την επιστρέφει σ' αυτό τη νύχτα.

Το σημαντικότερο μέρος του συστήματος είναι ένας πλαστικός σάκος, κατασκευασμένος από δύο λεπτές ταινίες πολυαιθυλενίου, ο οποίος είναι κρεμασμένος κάθετα μέσα στο θερμοκήπιο. Το θερμοκήπιο λειτουργεί ως ηλιακός συσσωρευτής κατά τη διάρκεια της ημέρας και ως μέσο ανταλλαγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι ταινίες είναι συγκολλημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε το νερό που εισάγεται στην κορυφή της τσάντας να πέφτει λόγω βαρύτητας. Το θερμό ύδωρ αποθηκεύεται σε μια 'λεκάνη' στο έδαφος η οποία είναι στεγανοποιημένη με μια ταινία πολυαιθυλενίου (Γραφιαδέλλης, 1987).

Οι ενεργειακές εισροές στο θερμοκήπιο ποικίλουν ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που απαιτεί η κάθε καλλιέργεια. Γενικά μπορούμε να διακρίνουμε δύο ειδών περιβαλλοντικά συστήματα:

- ✚ Το υπέργειο τμήμα της καλλιέργειας, το οποίο επηρεάζεται από τη θέρμανση, τον αερισμό, τη συγκέντρωση του CO₂ και τον επιπρόσθετο τεχνητό φωτισμό.
- ✚ Το υπόγειο τμήμα της καλλιέργειας, το οποίο επηρεάζεται από τα λιπάσματα, την κατεργασία του εδάφους, την άρδευση και τις απολυμάνσεις.

Θεωρητικά αναγνωρίζονται στο θερμοκήπιο τρεις μορφές ενέργειας:

1. η ηλιακή ενέργεια και το υπόγειο νερό

Αυτή η μορφή ενέργειας θεωρείται ως δωρεάν παροχή στην οικονομική ανάλυση του αγροτικού συστήματος. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια φυσική μορφή ενέργειας και τα ποσά της καθορίζονται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής και τη μέση ετήσια ακτινοβολία που προσπίπτει στην περιοχή αυτή. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια τυπική θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Επειδή οι κλιματολογικές συνθήκες στο περιβάλλον του θερμοκηπίου διαφέρουν αρκετά τους χειμερινούς με τους καλοκαιρινούς μήνες, οι παραγωγοί θα επιθυμούσαν οι περιβαλλοντικές συνθήκες να είναι παρόμοιες με αυτές του φθινοπώρου όπου οι ανάγκες των φυτών σε θέρμανση και νερό είναι ελάχιστες.

2. Η ανθρώπινη ενέργεια και η απαιτούμενη ενέργεια για ζωή

Αυτή η μορφή ενέργειας στα παλαιότερα χρόνια ήταν ο ακρογωνιαίος λίθος σ' ένα σύστημα παραγωγής, σε αντίθεση με τα σύγχρονα συστήματα παραγωγής στα οποία λόγω της εκμηχάνισης των καλλιεργειών η ανθρώπινη ενέργεια αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της ολικής δαπανώμενης ενέργειας.

3. Άμεσες και έμμεσες ενεργειακές εισροές

Άμεσες θεωρούνται οι εισροές που καταναλώνονται στον αγρό ή στην εκμετάλλευση, δηλαδή τα καύσιμα, τα θρεπτικά στοιχεία, τα εντομοκτόνα και τα μυκητοκτόνα. Έμμεσες θεωρούνται οι εισροές που αντιστοιχούν στην ενέργεια η οποία έχει καταναλωθεί για την παραγωγή και διακίνηση των συντελεστών παραγωγής μέχρι την είσοδο της εκμετάλλευσης, δηλαδή τα ποσά της ενέργειας που δαπανήθηκαν για να κατασκευαστεί το θερμοκήπιο, το σύστημα άρδευσης και ο υπόλοιπος γεωργικός εξοπλισμός. Οι άμεσες εισροές οι οποίες πρέπει να υπολογιστούν σ' ένα θερμοκήπιο είναι: η λίπανση (άζωτο, φώσφορος και κάλιο), το νερό άρδευσης, τα γεωργικά φάρμακα, το τεχνητό υπόστρωμα (περλίτης), η ανθρώπινη εργασία (υποστύλωση, κλάδεμα, συγκομιδή) και τα καύσιμα (Γραφιαδέλλης, 1987).

1.2. Συστήματα καλλιέργειας

1.2.1. Γενικά για την υδροπονία

Με τον όρο υδροπονία εννοούμε την τεχνική κατά την οποία η καλλιέργεια των φυτών δε γίνεται στο έδαφος αλλά σε τεχνητό ή φυσικό υπόστρωμα και η θρέψη τους βασίζεται στη συχνή παροχή θρεπτικού διαλύματος (X. Λύκας, 2007).

Η αρχή της μεθόδου είναι η διάλυση όλων των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη του φυτού στο νερό και η χορήγησή τους με αρδευτικό σύστημα χωρίς να χρησιμοποιείται το έδαφος. Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά για πειραματικούς σκοπούς. Σύντομα όμως αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητές της για καλλιέργεια φυτών σε μεγάλη κλίμακα. Κάθε είδος φυτού είναι δυνατόν να καλλιεργηθεί χωρίς έδαφος και ιδιαίτερα τα λαχανοκομικά και ανθοκομικά φυτά. Γενικά όμως αυτή η καλλιεργητική τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί για γεωργική εκμετάλλευση μόνο κάτω από συνθήκες υψηλής τεχνολογικής ανάπτυξης και αποδοτικών καλλιεργειών. Φυσικά, πρέπει να ικανοποιούνται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των φυτών σε θερμοκρασία, φως, υγρασία και αερισμό και να εφαρμόζονται τα απαραίτητα μέτρα φυτοπροστασίας. Επειδή όμως δεν μεσολαβεί ο ρυθμιστικός ρόλος του εδάφους, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ακριβή χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων (www.agrek.gr).



Σχήμα 1.2.1. Σχηματική απεικόνιση υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε πετροβάμβακα.

Η υδροπονία, μαζί με τον αυτοματοποιημένο έλεγχο του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου συνιστούν τις δύο τεχνολογίες αιχμής στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Οι μέθοδοι αυτοί είναι μονόδρομος για την εξασφάλιση υψηλών στρεμματικών αποδόσεων, μείωσης του κόστους, ανταγωνιστικού προϊόντος υψηλής και κυρίως σταθερής ποιότητας, με τρόπο φιλικό για το περιβάλλον. Χάρης στα πολλά της αυτά πλεονεκτήματα, η υδροπονία σήμερα έχει καταστεί ή τείνει να καταστεί ο κανόνας μάλλον παρά η εξαίρεση στις πλέον προηγμένες χώρες στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών (www.protinews.gr).



Σχήμα 1.2.2. Σχηματική απεικόνιση εγκατάστασης υδροπονικού συστήματος στο θερμοκήπιο.

1.2.2. Οι εγκαταστάσεις παρασκευής και κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος

1.2.2.1. Τα δοχεία με τα διαλύματα αλάτων

Η παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων δεν γίνεται με απευθείας ζύγιση των αλάτων, λόγω των σχετικά μικρών ποσοτήτων που χρειάζονται ιδιαίτερα στην περίπτωση των ιχνοστοιχείων.

Η εργασία αυτή διευκολύνεται κατά πολύ με την παρασκευή πυκνών διαλυμάτων των αλάτων. Αυτά αποθηκεύονται σε δεξαμενές, από τις οποίες κάθε φορά χρησιμοποιούνται ορισμένες ποσότητες με κατάλληλη αραιώση σε νερό. Συνήθως σχηματίζονται τέσσερα πυκνά διαλύματα αλάτων που χρησιμεύουν ως πηγή μακροστοιχείων. Για τα ιχνοστοιχεία εκτός από τον σίδηρο σχηματίζεται ενιαίο πυκνό διάλυμα. Ο σίδηρος δεν πρέπει να αναμιγνύεται με τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία πολύ πριν από την τελική αραιώση και γι' αυτό διατηρείται σε ξεχωριστό διάλυμα. Εξάλλου τα φυτά παρουσιάζουν εύκολα τροφοπενία σιδήρου και το στοιχείο αυτό είναι ανάγκη να χορηγείται μόνο του για θεραπευτικούς σκοπούς.

1.2.2.2. Η δεξαμενή παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος

Αφού το θρεπτικό διάλυμα περάσει από τους αγωγούς και τα φυτά, συγκεντρώνεται στον αγωγό επιστροφής και καταλήγει στην δεξαμενή παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος. Από την στιγμή της εγκατάστασης του φυτού μέχρι το τέλος της καλλιέργειας το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται συνέχεια. Αντίθετα με ότι συμβαίνει κατά την άρδευση του εδάφους, αν κάποια τοξική ουσία μπει στο θρεπτικό διάλυμα, τότε θα παραμείνει και θα ανακυκλώνεται συνέχεια. Γι' αυτό τον λόγο το θρεπτικό διάλυμα θα πρέπει να έρχεται σε επαφή με υλικά τα οποία είναι ελεύθερα από διαλυτές ουσίες που θα μπορούσαν να βλάψουν τα φυτά. Επιπλέον επιβάλλεται να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή τα φυτοφάρμακα, γιατί διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος να περάσουν στο διάλυμα και να προκαλέσουν ζημιές στα φυτά. Στην περίπτωση που θα μπουν στο διάλυμα τοξικές ουσίες για τα φυτά τότε θα πρέπει να αλλαχτεί τελείως το θρεπτικό διάλυμα. Τα ίδια

ισχύουν αν μπει στη δεξαμενή κάποιο παθογόνο μικρόβιο, διαδίδεται μέσα σε μερικά λεπτά σε όλο το σύστημα. Για την αποφυγή μίας τέτοιας περίπτωσης χρησιμοποιούνται ορισμένα σκευάσματα. Όμως στην πράξη και σε καλά οργανωμένες μονάδες δεν έχουν παρατηρηθεί σοβαρά προβλήματα όσον αφορά στο θέμα αυτό.

1.2.2.3. Τα αυτόματα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης

Στην δεξαμενή παρασκευής και τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητο να ελεγχθούν οι λειτουργικές παράμετροι του θρεπτικού διαλύματος. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να γίνουν με αυτόματα συστήματα ή με φορητές συσκευές. Αποκλίσεις από τις προδιαγραφές λειτουργίας του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο έρχεται από τα φυτά και επιστρέφει σ' αυτά, απαιτούν τις κατάλληλες διορθώσεις. Συνήθως ελέγχεται και ρυθμίζεται το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

1.2.2.4. Οι τροφοδοτικές αντλίες

Αποστολή τους είναι να προωθούν το θρεπτικό διάλυμα από την δεξαμενή παρασκευής και ελέγχου/ρύθμισής του στις εγκαταστάσεις ανάπτυξης των φυτών μέσω των αγωγών τροφοδοσίας. Αποτελούν ευαίσθητο σημείο της μεθόδου γιατί οποιαδήποτε βλάβη σημαίνει την μη-παροχή θρεπτικού διαλύματος στα φυτά, κάτι που θα έχει καταστροφικά αποτελέσματα.

Επομένως, είναι απαραίτητη η ύπαρξη και βοηθητικής τροφοδοτικής αντλίας σε περιπτώσεις διακοπής λειτουργίας της κανονικής, λόγω βλάβης ή συντήρησής της.

1.2.2.5. Οι αγωγοί

Σ' αυτούς κυκλοφορεί συνέχεια το θρεπτικό διάλυμα, ενώ στο τμήμα της ανάπτυξης των φυτών εκτελούν συγχρόνως και λειτουργία στήριξης γιατί πάνω τους είναι τοποθετημένα και τα φυτά. Οι αγωγοί μπορεί να κατασκευαστούν από μπετόν, γαλβανισμένη λαμαρίνα ή οποιοδήποτε υλικό. Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται να επενδύονται από ειδικό φύλλο πλαστικού, το οποίο δεν αντιδρά χημικά με το θρεπτικό διάλυμα. Το πλαστικό είναι δίχρωμο με την μία πλευρά άσπρη και την άλλη μαύρη. Η μαύρη πλευρά χρησιμοποιείται εσωτερικά, ώστε το ριζικό σύστημα των φυτών να αναπτύσσεται σε σκοτεινό χώρο. Η άσπρη πλευρά βρίσκεται εξωτερικά, ώστε να ανακλάται το φως του ήλιου και να μην υπερθερμαίνεται το θρεπτικό διάλυμα.

Το μήκος του αγωγού είναι περιορισμένο γιατί επιδιώκεται να υπάρχει αρκετή ποσότητα οξυγόνου στο διάλυμα και προς το τέλος του αγωγού. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι αγωγοί μπορεί να έχουν μήκος 17-20 m και πλάτος 10-35 cm, ανάλογα με το είδος του φυτού που πρόκειται να καλλιεργηθεί. Για να εξασφαλιστεί καλή κυκλοφορία του διαλύματος ο αγωγός πρέπει να έχει κλίση 1:75 και όχι μεγαλύτερη γιατί διαφορετικά το διάλυμα θα φεύγει πολύ γρήγορα. Επιπλέον η κλίση αυτή πρέπει να είναι ομαλή και να μην δημιουργούνται κοιλότητες σε ορισμένα σημεία.

Κατάλληλη ταχύτητα ροής του θρεπτικού διαλύματος θεωρείται η τιμή 2-4 l/min. Το μήκος των αγωγών συνδέεται άμεσα με την ταχύτητα ροής γιατί απαιτείται να διατηρηθεί στο επιθυμητό επίπεδο η περιεκτικότητα του διαλύματος σε οξυγόνο στο σημείο εξόδου του από το τμήμα ανάπτυξης των φυτών. Σε ορισμένα συστήματα απαιτείται παράλληλα να διατηρηθεί και το πάχος του διαλύματος σταθερό (www.biotech.aua.gr).



Σχήμα 1.2.3. Σχηματική απεικόνιση συστήματος παρασκευής θρεπτικού διαλύματος.

1.2.3. Υποδοχείς φυτών και υποστρωμάτων – εδαφοκάλυψη

Η κλίση του εδάφους δεν πρέπει να ξεπερνά το 1% (σύστημα υποστρωμάτων με στάγδην άρδευση) ή το 1,5% (σύστημα NFT).

Η εδαφοκάλυψη σε μία υδροπονική εγκατάσταση αναμφισβήτητα αποτελεί ένα από τα πιο κύρια σημεία στην φιλοσοφία της υδροπονίας.. Η κάλυψη του εδάφους με πλαστικό φιλμ αποσκοπεί στην απομόνωση του εδάφους από την καλλιέργεια. Με την απομόνωση αυτή αποτρέπεται η βλάστηση των ζιζανίων, αντιμετωπίζονται ριζικά οι ασθένειες των θερμοκηπιακών καλλιεργειών οι οποίες μεταδίδονται μέσω του εδάφους (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, πυρηνochaίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και φυτοϊοί, κ.λπ.), ενώ μειώνονται στο ελάχιστο οι εργατοώρες από το ξεβοτανίσματα και καλλιέργεια εδάφους (www.agrek.gr).

1.2.4. Υποστρώματα υδροπονίας

Χρόνια τώρα πολλές εταιρείες έχουν επενδύσει τεράστια κεφάλαια στην έρευνα και στον πειραματισμό σε υποστρώματα και συστήματα. Η έρευνα αυτή είχε σαν αποτέλεσμα μια μεγάλη ποικιλία υποστρωμάτων και συστημάτων, τα οποία περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

1.2.4.1. Συστήματα χωρίς υπόστρωμα

Στα συστήματα αυτά οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια συνεχούς ή μη συνεχούς ροής θρεπτικού διαλύματος. Τα πιο γνωστά συστήματα αυτής της

μορφής είναι το NFT και η επιπλέουσα υδροπονία. Στο NFT (Nutrient Film Technique) οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια μεγάλου μήκους μέσα στα οποία το ρέει το θρεπτικό διάλυμα. Τα κανάλια του NFT είναι συνήθως υπενδεδυμένα με ειδικό πλαστικό, με άσπρο χρώμα εξωτερικά και μαύρο εσωτερικά. Στην δεύτερη περίπτωση, στην επιπλέουσα υδροπονία, δεν έχουμε συνεχή ροή θρεπτικού διαλύματος, αλλά το θρεπτικό διάλυμα βρίσκεται μέσα σε μεγάλες λεκάνες – δεξαμενές, μέσα στο οποίο αναπτύσσονται τα φυτά. Στο σύστημα αυτό η οξυγόνωση του διαλύματος είναι απαραίτητη. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε καλλιέργειες χαμηλών λαχανικών όπως τα μαρούλια. Τα φυτά τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες οπές που έχουν ανοιχτεί σε δίσκους φελιζόλ. Τα φελιζόλ επιπλέουν πάνω στο θρεπτικό διάλυμα και έτσι οι ρίζες των φυτών βρίσκονται συνεχώς μέσα στο διάλυμα αυτό. Σε αυτή την κατηγορία μπορεί να ενταχθεί και αεροπονία όπου τα φυτά τοποθετούνται σε δίσκους φελιζόλ με τις ρίζες τους να αναπτύσσονται στο διάκενο. Το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται στις ρίζες υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων. Ο ψεκασμός πρέπει να γίνεται σε συνθήκες σκοταδιού για την αποφυγή δημιουργίας αλγών.

1.2.4.2. Συστήματα με υπόστρωμα

Τα υποστρώματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υδροπονικές καλλιέργειες μπορούν να είναι τεχνητά υλικά τα οποία να προέρχονται από την επεξεργασία πετρωμάτων ή φυσικές πρώτες ύλες οι οποίες υπόκεινται σε ειδική επεξεργασία.

Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι τα ακόλουθα:

Πετροβάμβακας (rockwool, stonewool). Ο πετροβάμβακας αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα παγκοσμίως. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών (τομάτα, αγγούρι, μαρούλι κ.α.) αλλά και στην ανθοκομία (τριαντάφυλλο, ζέρμπερα κ.α.). Είναι ένα φυσικό προϊόν μιας και προέρχεται από ηφαιστειογενή πετρώματα τα οποία μετά από ειδική επεξεργασία δίνουν το γνωστό τελικό προϊόν αποτελούμενο από λεπτές ίνες. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 1600°C) με αποτέλεσμα το υλικό το οποίο τελικά παράγεται να είναι πλήρως αποστειρωμένο και συνεπώς απαλλαγμένο από φυτοπαθογόνους και μη οργανισμούς. Το κυριότερο πλεονέκτημά του είναι η ικανότητα που διαθέτει να συγκρατεί πολύ μεγάλες ποσότητες θρεπτικού διαλύματος μιας και οι πόροι του καταλαμβάνουν περίπου το 96% του όγκου του. Αυτό έχει ως συνέπεια την κατανάλωση πολύ μικρότερων ποσοτήτων νερού από οποιοδήποτε άλλο υπόστρωμα.



Ελαφρόπετρα. Η ελαφρόπετρα είναι ένα αργιλοπυριτικό ηφαιστειογενές ορυκτό το οποίο παράγεται στη χώρα μας, χημικά αδρανές το οποίο χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών. Το pH της ελαφρόπετρας είναι περίπου 7,3. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει αλλά καλύτερα είναι πριν την χρήση να έχει προηγηθεί καλό κοσκίνισμα ώστε να απομακρυνθεί η σκόνη και να ξεπλυθεί. Συνήθως χρησιμοποιείται σε σάκους φύτευσης ή σε κανάλια καλλιέργειας.





Περλίτης. Ο υδροπονικός περλίτης προέρχεται από επεξεργασία του ορυκτού περλίτη που είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα το οποίο παράγεται και στη χώρα μας (στη Μήλο). Σαν υλικό είναι χημικά αδρανές και το pH είναι ουδέτερο (pH=7). Ο περλίτης συνήθως χρησιμοποιείται σε σάκους ή σε κανάλια καλλιέργειας.

Κοκοφοίνικας (cocosoil, cocopeat). Ο κοκοφοίνικας είναι ένα φυσικό υλικό το οποίο προέρχεται από το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας. Συνεπώς είναι υλικό απαλλαγμένο από ασθένειες. Σε σύγκριση με τα παραπάνω υποστρώματα, ο κοκοφοίνικας είναι οργανικό υλικό. Διατίθεται στο εμπόριο σε σάκους καλλιέργειας αλλά και σε τούβλα (blocks) συμπιεσμένου υλικού που μετά από την αποσυμπίεσή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καλλιέργεια σε γλάστρες ή κανάλια. Στη χώρα μας χρησιμοποιείται ευρύτατα στην υδροπονική καλλιέργεια κυρίως ανθοκομικών φυτών (τριαντάφυλλο, ζέρμπερα, γαρίφαλο, βολβοϊδών κ.α.). Σε μία καλή και σταθερή ποιότητα υλικού η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται στο 0,5 mS/cm ή και χαμηλότερα και pH από 5,5 έως 6.

Υπάρχουν συνεπώς πολλά συστήματα και υποστρώματα τα οποία μπορούν να επιλεγούν για την υδροπονική καλλιέργεια.

Πριν όμως γίνει η τελική επιλογή θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν διάφοροι παράγοντες όπως οι συνθήκες της περιοχής καλλιέργειας, η ποιότητα του νερού άρδευσης, ο εξοπλισμός που απαιτείται κ.α. Σίγουρα το κόστος προβληματίζει αλλά τελικά δεν πρέπει να αποτελεί το μοναδικό λόγο επιλογής υποστρώματος ή συστήματος. Ένα είναι σίγουρο, και αυτό έχει αποδείξει διαχρονικά η εμπειρία όσων έχουν ασχοληθεί επισταμένα με την υδροπονία, ότι το κόστος είναι συνδεδεμένο με την ποιότητα των υλικών. Και αυτό δεν αφορά μόνο τα υποστρώματα αλλά και τον εξοπλισμό που θα εγκατασταθεί (μηχανήματα, αρδευτικό κ.α.).

Δεν θα πρέπει βέβαια να ξεχνάμε ότι ένας σημαντικός παράγοντας επιτυχίας μιας υδροπονικής καλλιέργειας είναι η θρέψη των φυτών. Κάθε υπόστρωμα έχει και τις δικές του απαιτήσεις όσον αφορά τη θρέψη – λίπανση. Πριν την εγκατάσταση του συστήματος θα πρέπει να γίνει ανάλυση του νερού για να διαπιστωθεί κατά πόσο αυτό είναι κατάλληλο για την καλλιέργεια σε υδροπονία. Μετά την εγκατάσταση του όποιου συστήματος με αναλύσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου μπορούν να γίνουν διορθώσεις στο διάλυμα θρέψης. Και επειδή στην υδροπονία απαιτείται ακρίβεια στις μετρήσεις – αναλύσεις και στην πρόταση λίπανσης, είναι αναγκαία η συνεργασία με εργαστήρια που έχουν την τεχνολογία, την γνώση αλλά και εμπειρία (www.smetonline.net.gr).

1.2.5. Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα της ανάπτυξης των φυτών σε τεχνητό περιβάλλον

Η αρχή της υδροπονίας είναι απλή. Όμως, κατά την εφαρμογή της παρουσιάζονται αρκετά προβλήματα, γιατί η προσομοίωση του πραγματικού συστήματος απαιτεί την ρύθμιση όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών.

1.2.5.1. Μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας

1. Απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Εντονότερο είναι το πρόβλημα ρύθμισης της ποσότητας των ιχνοστοιχείων τα οποία προστίθενται σε ποσότητα λίγων ppm. Η ποσότητα αυτών αν αποκλίνει έστω και λίγο τότε γίνονται τοξικά για τα φυτά ή προκαλούνται τροφοπενίες.
2. Απαιτείται προηγμένη τεχνολογία (μηχανισμοί και αυτοματισμοί για την ρύθμιση της σωστής κυκλοφορίας του θρεπτικού διαλύματος, αυτόματο πότισμα, ρύθμιση περιβάλλοντος κ.λπ.).
3. Απαιτείται εργαστήριο για την ανάλυση του θρεπτικού διαλύματος, του υποστρώματος και των ιδίων των φυτών. Οι αναλύσεις αυτές είναι απαραίτητο να γίνονται πολύ συχνά και σε οργανωμένη βάση. Κατά την συμβατική καλλιέργεια στο έδαφος η ύπαρξη εργαστηρίου είναι χρήσιμη, αλλά όχι καθοριστική.
4. Παρατηρείται μικρότερη ικανότητα προσαρμογής σε σύγκριση με την καλλιέργεια στο έδαφος. Η έλλειψη νερού ή θρεπτικών στοιχείων δεν μπορεί να αναπληρωθεί, ενώ οι μεταβολές της οξύτητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος είναι απότομες. Οποιαδήποτε απόκλιση των συντελεστών αυτών ακόμη και για μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα για την καλλιέργεια.
5. Ο χρήστης της μεθόδου πρέπει να είναι έμπειρος και ικανός, με επίγνωση των δυσκολιών που παρουσιάζει η εφαρμογή της υδροπονικής καλλιέργειας.
6. Το κόστος εγκατάστασης της υδροπονικής καλλιέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι στην καλλιέργεια στο έδαφος, ιδιαίτερα αν πρόκειται για καθαρά υδροπονικό σύστημα (π.χ. NFT). Ως αντιστάθμισμα όμως θεωρείται ότι επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση εργατικών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κ.λπ. Επιπλέον αυξάνεται η ποσότητα της παραγωγής και βελτιώνεται η ποιότητά της (www.biotech.aua.gr).

Βέβαια αν και τα προηγούμενα μειονεκτήματα μπορεί να θεωρηθεί ότι δρουν ανασταλτικά στην επέκταση της υδροπονίας, στην πραγματικότητα σε αρκετές χώρες παρατηρείται ακριβώς το αντίθετο, εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων της.

1.2.5.2. Πλεονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας

1. Ριζική αντιμετώπιση των ασθενειών των θερμοκηπιακών καλλιεργειών οι οποίες μεταδίδονται μέσω του εδάφους (φουζάριο, βερτισίλλιο, πύθιο, πυρηνochaίτη, έντομα εδάφους, νηματώδεις, ορισμένα βακτήρια και ιοί φυτών, κ.λπ.).
2. Δεν υφίσταται ανάγκη για καταπολέμηση των ζιζανίων που ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά.
3. Δεν υφίσταται ανάγκη για απολύμανση του εδάφους με συνέπεια να αποφεύγεται η εφαρμογή χημικών απολυμαντικών υψηλής τοξικότητας όπως το βρωμιούχο μεθύλιο, η χρήση των οποίων εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους τόσο για την υγεία των παραγωγών και των καταναλωτών όσο και για το περιβάλλον.
4. Μείωση υπερβολικών χημικών ψεκασμών και συνεπώς ανάπτυξη υγιέστερων φυτών με υψηλή θρεπτική περιεκτικότητα.

5. Αντιμετώπιση των προβλημάτων χαμηλής γονιμότητας που εμφανίζουν πολλά εδάφη θερμοκηπίου, είτε λόγω υπερεντατικής εκμετάλλευσης είτε λόγω δυσμενών φυσικών ιδιοτήτων (π.χ. πολύ βαρεία ή πολύ ελαφρά εδάφη, εναλατωμένα εδάφη, κ.λπ.).
6. Η διατήρηση της επιθυμητής ελάχιστης θερμοκρασίας στον χώρο του ριζοστρώματος μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα και με χαμηλότερο κόστος δεδομένου ότι οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα στον περιορισμένο όγκο των υποστρωμάτων ή των θρεπτικών διαλυμάτων, τα οποία μάλιστα βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.
7. Η θρέψη των φυτών είναι πολύ πιο ακριβής, μπορεί να ελέγχεται και να εποπτεύεται καλύτερα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία και επίσης μπορεί να διορθώνεται ευκολότερα και ταχύτερα σε περίπτωση που έχει διαπραχθεί κάποιο λάθος.
8. Η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους απαλλάσσει τον καλλιεργητή από τις εργασίες της προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, φρεζάρισμα, βασική λίπανση, κ.λπ.) με αποτέλεσμα, αφενός μεν να μειώνονται οι ανάγκες σε εργατικά και αφετέρου να είναι δυνατή η φύτευση νέας καλλιέργειας αμέσως μετά την απομάκρυνση της προηγούμενης.
9. Οι καλύτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων σε σύγκριση με το έδαφος, η αριστοποίηση της θρέψης και η διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο ριζόστρωμα κατά την διάρκεια της ψυχρής εποχής του έτους έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των αποδόσεων στις υδροπονικές καλλιέργειες.
10. Η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να περιλαμβάνει και ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος, με συνέπεια την ελαχιστοποίηση ή και τον μηδενισμό των προβλημάτων νιτρορύπανσης και ευτροφισμού τα οποία προκαλούνται από υπολείμματα λιπασμάτων από θερμοκηπιακές καλλιέργειες (www.agrek.gr).

1.3. Το φυτό της τομάτας

1.3.1. Γενικά

Η τομάτα είναι ένα από τα 8-10 πολύ συγγενικά είδη του γένους *Lycopersicon*, το οποίο ξεχωρίζει από το πολύ συγγενικό είδος *Solanum* (πιθανός πρόγονος), από τα χαρακτηριστικά διάνοιξης των ανθών και απελευθέρωσης της γύρης. Τα πλείστα γένη του *Lycopersicon* είναι θάμνοι ετήσιοι, βραχείας διάρκειας, με βιολογικό κύκλο 5 ή και λιγότερους μήνες. Όλα τα είδη είναι ενδογενή φυτά της ΝΑ Αμερικής. Η άγρια μορφή της τομάτας έχει βρεθεί επίσης και στο Μεξικό, στην Κεντρική Αμερική και άλλες περιοχές της Ν. Αμερικής.

Η τομάτα είναι κατά κανόνα ετήσιο λαχανικό, αρκετά διαδεδομένο και πολύ δημοφιλές. Η δημοτικότητα της ποικίλει στις διάφορες χώρες, αλλά είναι πολύ λίγες οι περιοχές της γης που όπου η τομάτα δεν καλλιεργείται με κάποια από τις μορφές καλλιέργειάς της. Καλλιεργείται για τον καρπό της, ο οποίος καταναλώνεται ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, σε άλμη, ακέραιος ή σε πολτό. Ακόμη και οι άωροι καρποί (τοξικοί αν καταναλωθούν νωποί), συντηρούνται σε άλμη ή σε ξύδι.

Το *Lycopersicon esculentum* και οι στενοί συγγενείς είναι αυτογονιμοποιούμενα είδη. Σε μερικές περιπτώσεις σταυρογονιμοποιούνται, όπως στις περιοχές που αυτοφύονται και σε μερικές άλλες υποτροπικές περιοχές. Αντίθετα τα άλλα είδη του *Lycopersicon* είναι αυτόστειρα και επομένως σταυρογονιμοποιούνται πλήρως με διάφορα είδη μελισσών (Ολυμπίου, 2001).

1.3.2. Περιγραφή του φυτού

Είναι φυτό ποώδες, ετήσιο, διετές και σπανιότερα πολυετές.

Ρίζα: Αναπτύσσει ευδιάκριτη κεντρική ρίζα, αρκετές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια, όταν ο σπόρος σπέρνεται απ' ευθείας στη μόνιμη θέση. Επειδή όμως, κατά κανόνα τουλάχιστον, στην καλλιέργεια στο θερμοκήπιο η τομάτα μεταφυτεύεται μια ή περισσότερες φορές, η κεντρική ρίζα κόβεται, καταστρέφεται και το φυτό αρχίζει να παράγει με ευκολία πολλές δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες, ακόμη και από το λαιμό του φυτού, γεγονός που θεωρείται πλεονέκτημα, γιατί διευκολύνει τη μεταφύτευση του φυτού, ακόμη και με γυμνή ρίζα ή μπάλα χώματος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτή είναι και η ενδεδειγμένη τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας.

Βλαστός: Κατά το φύτευμα παράγεται ο κεντρικός βλαστός, ο οποίος φέρει τα πραγματικά φύλλα, στις μασχάλες των οποίων υπάρχουν οφθαλμοί που δίνουν πλευρικούς βλαστούς. Πολλές φορές οι πλευρικοί βλαστοί στην κορυφή είναι τόσο ζωντοί που με δυσκολία μπορεί κανείς να ξεχωρίσει ποιος είναι ο κεντρικός και ποιος ο πλευρικός.

Φύλλα: Τα πραγματικά φύλλα είναι σύνθετα. Κάθε φύλλο αποτελείται από ζεύγη φυλλαρίων και παράφυλλων, με ένα μόνο φυλλάριο στην άκρη. Ο αριθμός των ζευγών των φυλλαρίων σε κάθε φύλλο ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία, και από τη θέση του φύλλου επί του βλαστού. Τα πρώτα πραγματικά φύλλα μιας συγκεκριμένης ποικιλίας, έχουν μικρότερο αριθμό ζευγών.

Άνθη – Ταξιανθία: Τα άνθη εμφανίζονται σε ταξιανθίες από 2-3 / ταξιανθία έως 20 ή και περισσότερα. Ένας μέσος επιθυμητός αριθμός που θα εξελιχθεί σε καρπούς είναι 6-8 άνθη / ταξιανθία.

Καρπός: Ο καρπός είναι πολύχωρος ράγα, με ποικίλα σχήματα. Ο καρπός ποικιλιών με δύο χωρίσματα είναι συνήθως στρογγυλός, ενώ αυτών με 2, 3, 4, ή και περισσότερα είναι πεπλατυσμένος και πιθανόν ακανόνιστος (Ολυμπίου, 2001 και Δημητρακάκης, 1998).



1.3.3. Η χρησιμότητα της τομάτας στη ζωή μας

Δεν υπάρχει πιο αντιπροσωπευτικός εκπρόσωπος των λαχανικών του καλοκαιριού από την τομάτα. Στις μέρες μας μπορούμε να βρούμε το νόστιμο αυτό λαχανικό καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Η εποχή της είναι ωστόσο η περίοδος από τον Ιούλιο μέχρι το Σεπτέμβριο. Στην Ελλάδα η τομάτα ήρθε το 1818 μ.Χ., όπως και η πατάτα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι πρώτες ποικιλίες τομάτας έμοιαζαν περισσότερο με τα τοματίνια. Αρχικά, η τομάτα καλλιεργούνταν ως φυτό κήπου καθώς θεωρούσαν ότι η κατανάλωση της προκαλεί δηλητηρίαση. Το 19ο αιώνα μ.Χ. όμως έγινε ένα από τα πιο δημοφιλή λαχανικά και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής και της κουζίνας πολλών πολιτισμών (www.ab.gr).

Ο καρπός της ντομάτας είναι ανάλογος της ποικιλίας του φυτού. Ανεξάρτητα πάντως από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του καρπού όλοι έχουν κάτι κοινό. Την υψηλή διατροφική αξία τους, που δεν είναι τόσο γνωστή στο ευρύ κοινό. Ενδεικτικά αναφέρουμε, στον παρακάτω πίνακα, τα σημαντικότερα στοιχεία που υπάρχουν στις τομάτες (www.agrolik.gr).

Εκτός των παραπάνω, στις ντομάτες περιέχεται και μια σημαντικότερη ουσία η λυκοπένη. Είναι ένα καροτενοειδές του οποίου η δράση έχει μελετηθεί ίσως πιο διεξοδικά από όλα τα υπόλοιπα φυτοχημικά. Έχει αντιοξειδωτικές και αντικαρκινικές ιδιότητες αλλά και καρδιοπροστατευτικές. Η ουσία αυτή βοηθά στην λειτουργία της καρδιάς και των αγγείων και μειώνει την οξειδωμένη LDL-χοληστερόλη. Η ουσία αυτή απορροφάτε καλύτερα από τον ανθρώπινο οργανισμό όταν η ντομάτα έχει υποστεί θερμική επεξεργασία και συνοδεύεται από λιπαρές ουσίες (π.χ. ελαιόλαδο) (www.agrolik.gr, www.ab.gr).

Ενέργεια	37,8 kcal
Βιταμίνη C	34,38 mg
Βιταμίνη A	1121,40 IU
Κάλιο	399,60 mg
Μαγγάνιο	0,19 mg
Φυτικές ίνες	1,98 mg
Χρώμιο	9,00 µg
Βιταμίνη B1 (θειαμίνη)	0,11 mg
Βιταμίνη B6 (πυριδοξίνη)	0,14 mg
Φυλλικό οξύ	27,00 µg
Χαλκός	0,13 mg
Βιταμίνη B3 (νιασίνη)	1,13 mg
Βιταμίνη B2 (ριβοφλαβίνη)	0,09 mg
Μαγνήσιο	19,80 mg
Σίδηρος	0,81 mg

Παντοθενικό οξύ	0,44 mg
Φώσφορος	43,20 mg
Βιταμίνη Ε	0,68 mg
Τρυπτοφάνη	0,01 g
Πρωτεΐνη	1,53 g

Πίνακας 1.3.1 Θρεπτική αξία 180 gr τομάτας

Επιπλέον, πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι το λυκοπένιο έχει προστατευτική επίδραση ενάντια στον καρκίνο του προστάτη ενώ φαίνεται ότι μπορεί να έχει δράση και κατά της γαστρίτιδας. Η τομάτα είναι καλή πηγή βιταμίνης C, η οποία έχει αντιοξειδωτική δράση ενάντια στις ελεύθερες ρίζες και προστατεύει τον οργανισμό από πληθώρα προβλημάτων υγείας όπως οι επιπλοκές του διαβήτη, το άσθμα και ο καρκίνος του παχέος εντέρου. Η τομάτα περιέχει, επίσης, φυτικές ίνες, οι οποίες μειώνουν τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα, διατηρούν σταθερά τα επίπεδα της γλυκόζης και παράλληλα προστατεύουν – και αυτές – από τον καρκίνο του παχέος εντέρου. Η κατανάλωση τομάτας ενισχύει περαιτέρω την ευεργετική επίδραση ενάντια στον κίνδυνο αθηροσκλήρωσης εξαιτίας της περιεκτικότητας της σε κάλιο, νιασίνη, βιταμίνη Β6 και φυλλικό οξύ (www.ab.gr).



1.3.4. Εναλλακτικοί τύποι τομάτας στην Ελλάδα

Υπάρχει νομοτελειακή ανάγκη για στροφή σε καλλιέργεια εναλλακτικών τύπων τομάτας με καλύτερη γεύση, ελκυστική εμφάνιση, περισσότερο λυκοπένιο και βιταμίνες, μεγάλη διάρκεια μετασυλλεκτικής ζωής κ.α που έχουν εξαγωγικό ενδιαφέρον, όπως κερασοτομάτα, μικρόκαρπη ή και μεσόκαρπη, με ποικιλία σχημάτων καρπού. Ο προσανατολισμός σε μικρόκαρπες έως και μεσόκαρπες ποικιλίες, που δίνουν ‘τσαμπιά’ με ομοιόμορφους καρπούς, μπορεί να καλύψει ποιοτικές απαιτήσεις εν μέρει και της ελληνικής αγοράς.

Η Ελλάδα, όπως και οι υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου (Ισπανία, Ιταλία κ.α), συγκεντρώνει όλες τις προϋποθέσεις από πλευράς κλιματικών συνθηκών (έντονη και παρατεταμένη ηλιοφάνεια) για παραγωγή ποιοτικών προϊόντων όλων των τύπων τομάτας. Παρ’ όλα αυτά, η εγχώρια παραγωγή κερασοτομάτας είναι ασήμαντη και οι ανάγκες καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό με εισαγωγές, ενώ μόνο η εγχώρια παραγωγή μεσόκαρπης και μικρόκαρπης παρουσιάζει κάποια ανοδική τάση τελευταία.

Συμφώνα με πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν, κυρίως από τον κλάδο των διακινητών σπόρων, σήμερα η καλλιέργεια της κερασοτομάτας δε ξεπερνά τα 40 – 50 στρέμματα και περιορίζεται σε θερμοκήπια της Κρήτης, της ΝΔ Πελοποννήσου και της Στερεάς Ελλάδας. Η καλλιέργεια της μικρόκαρπης και μεσόκαρπης τύπου ‘τσαμπί’ συγκεντρώνει 170-180 στρέμματα θερμοκηπίων, από τα οποία πάνω από 50% βρίσκονται στη Μακεδονία και χρησιμοποιούνται υδροπονικά συστήματα.

Οι παραπάνω εκτάσεις είναι δραματικά χαμηλές συγκριτικά με αντίστοιχες σε άλλες Μεσογειακές χώρες (Ανώνυμος, 2007).

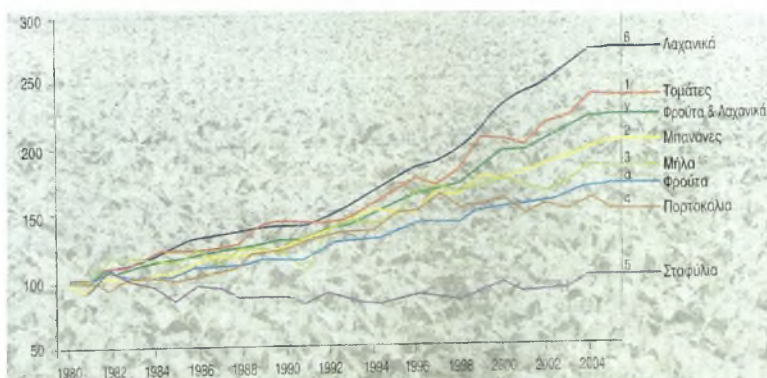
1.4. Η καλλιέργεια και οι αποδόσεις της τομάτας σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και ελλαδικό επίπεδο.

1.4.1. Η καλλιέργεια τομάτας στον κόσμο, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

Η τομάτα είναι από τα πιο εμπορικά οπωροκηπευτικά, αφού περιλαμβάνεται στα πέντε πρώτα σε διακινούμενες ποσότητες, κατέχοντας μάλιστα τη δεύτερη μετά τις μπανάνες, στο παγκόσμιο εμπόριο οπωροκηπευτικών.

Συγκεκριμένα με βάση τα στοιχεία του 2002-2004, οι μπανάνες κατέχουν ένα μερίδιο γύρω στο 13% της παγκόσμιας αγοράς οπωροκηπευτικών και οι τομάτες ένα μερίδιο γύρω στο 8%, ενώ ακολουθούν τα μήλα (7,5%), τα σταφύλια (7,5%) και τα πορτοκάλια (5%). Οι τομάτες και τα σταφύλια έχουν τα τελευταία 20 χρόνια αυξήσει ελαφρά το μερίδιο τους, ενώ οι μπανάνες, τα μήλα και τα πορτοκάλια έχουν χάσει έδαφος (Ανώνυμος, 2007).

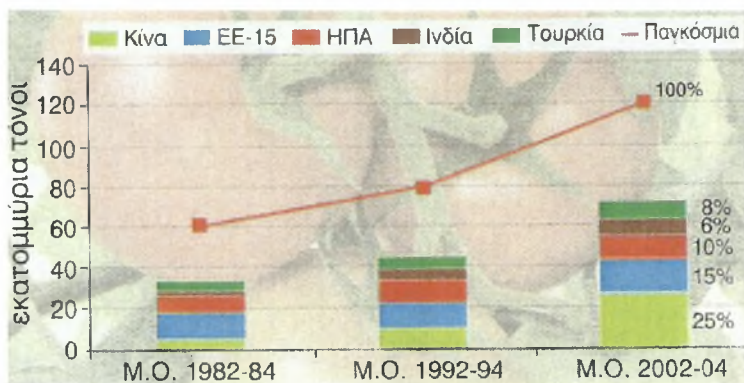
Εξετάζοντας την εξέλιξη της παραγωγής των πέντε αυτών οπωροκηπευτικών μετά το 1980, σε παγκόσμια κλίμακα (σχήμα 1.4.1.), γίνεται φανερό ότι η τομάτα παρουσίασε την πιο δυναμική αύξηση. Η παραγόμενη ποσότητα τομάτας διπλασιάστηκε, όπως περίπου συνέβη με τη μπανάνα, ενώ η ποσότητα των παραγόμενων σταφυλιών έμεινε στάσιμη. Τα λαχανικά, γενικά, παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση από τα φρούτα.



Σχήμα 1.4.1. συγκριτική παρουσίαση της αύξησης της παγκόσμιας παραγωγής από το 1980 (=100) μέχρι το 2005, γενικά των: (α)φρούτων, (β)λαχανικών και (γ) των φρουτολαχανικών και πιο συγκεκριμένα των πέντε πιο εμπορικών φρουτο-λαχανικών: (1) τομάτες (2) μπανάνες, (3) μήλα, (4) πορτοκάλια και (5) σταφύλια.(πηγή FAOstat)

Την τελευταία 20ετία η παγκόσμια παραγωγή τομάτας διπλασιάστηκε όπως αναφέρθηκε. Τη μεγαλύτερη αύξηση είχε η Κίνα (από 6 εκατομμύρια τόνους το

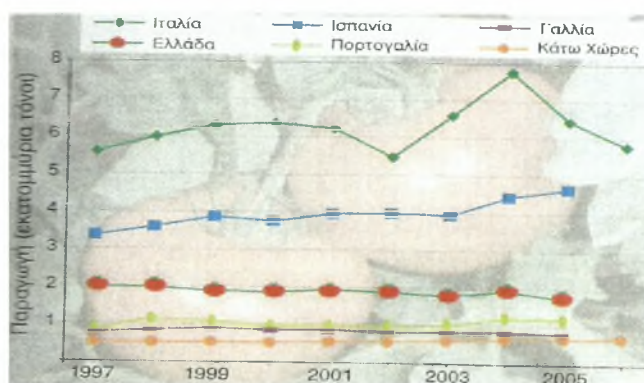
1982-84 σε 28 εκατομμύρια τόνους το 2002-04), η οποία σήμερα κατέχει την πρώτη θέση από άποψη παραγωγής (σχήμα 1.4.2.), η Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 που μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 κατείχε την πρώτη θέση, βρίσκεται τώρα στη δεύτερη. Στις πέντε πρώτες χώρες από άποψη παραγωγής περιλαμβάνονται επίσης οι ΗΠΑ, η Τουρκία και η Ινδία (Ανώνυμος, 2007).



Σχήμα 1.4.2. Η παγκόσμια παραγωγή τομάτας και οι κυριότερες χώρες παραγωγής, εξέλιξη από το 1982-84 μέχρι το 2002-04 (πηγή FAOstat)

Από τη συνολική παραγωγή των 120 εκατομμυρίων τόνων τομάτας που παράγεται παγκοσμίως κάθε χρόνο, μια ποσότητα γύρω στα 33 εκατομμύρια τόνους είναι βιομηχανική τομάτα που μεταποιείται και διακινείται στο διεθνές εμπόριο ως τοματοπολτός και άλλα προϊόντα μεταποίησης. Οι κύριοι παίχτες σήμερα στην διεθνή αγορά προϊόντων μεταποίησης τομάτας είναι με τη σειρά: Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση, Χιλή και Τουρκία.

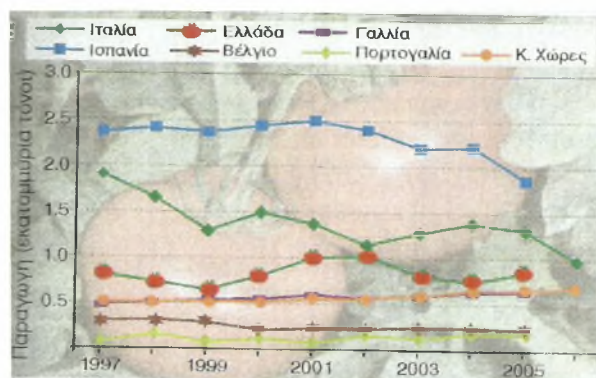
Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ελλάδα καταλαμβάνει μια καλή θέση όσον αφορά την ετήσια παραγωγή τομάτας (συνολικά επιτραπέζιας και βιομηχανικής). Με μέση ετήσια παραγωγή σταθερά γύρω στους δύο εκατομμύρια τόνους έρχεται τρίτη, αν και με σημαντική διαφορά μετά την Ιταλία και την Ισπανία (σχήμα 1.4.3.) (Ανώνυμος, 2007).



Σχήμα 1.4.3. Ετήσια παραγωγή τομάτας σε χώρες – μέλη της Ε.Ε (πηγή Euro stat)

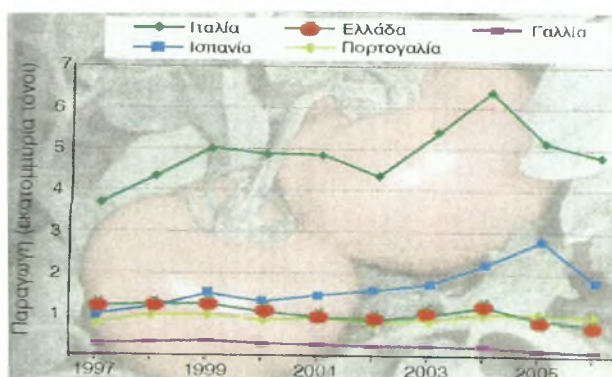
Στην παραγωγή επιτραπέζιας τομάτας, την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Ισπανία και ακολουθεί η Ιταλία, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται και εδώ στην τρίτη θέση (σχήμα 1.4.4.). Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ισπανία πραγματοποιεί σημαντικές εξαγωγές τομάτας και κυριαρχεί στις ευρωπαϊκές αγορές νωπών οπωροκηπευτικών. Σημαντικές εξαγωγές επιτραπέζιας τομάτας κάνει και η Ολλανδία. Εξαγωγικές, έστω και σε μικρότερες ποσότητες, είναι επίσης η Ιταλία, το Βέλγιο – Λουξεμβούργο και η Γαλλία, αλλά όχι η Ελλάδα. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την ιδιαίτερα υψηλή κατανάλωση νωπής τομάτας στην Ελλάδα η οποία είναι ετησίως 60 – 80 χгр/κάτοικο

ενώ δεν υπερβαίνει τα 10 -20 χγρ/κάτοικο στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι η Ελλάδα έχει αυξημένες απαιτήσεις επιτραπέζιας τομάτας σε σύγκριση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες γι' αυτό το παραγόμενο προϊόν διατίθεται στην εσωτερική αγορά, συνήθως σε καλές τιμές, οι πραγματοποιούμενες εξαγωγές είναι ασήμαντες ενώ γίνονται και κάποιες εισαγωγές ιδιαίτερα σε εναλλακτικούς τύπους τομάτας (κερασотоμάτες, μικρόκαρπες κλπ), για τις οποίες δεν υπάρχουν επίσημα στοιχεία.



Σχήμα 1.4.4. Ετήσια παραγωγή επιτραπέζιας τομάτας σε χώρες – μέλη της Ε.Ε (πηγή Euro stat)

Στην παραγωγή βιομηχανικής τομάτας, την πρώτη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατέχει η Ιταλία, και τη δεύτερη η Ισπανία. Ακολουθεί η Ελλάδα με την Πορτογαλία και η Γαλλία (σχήμα 1.4.5.). Η παραγωγή βιομηχανικής στη χώρα μας, μετά μια ελαφρά αυξητική πορεία την περίοδο 1995 – 2000, παρουσιάζει στη συνέχεια πτωτική πορεία σε αντίθεση με άλλες χώρες στις οποίες παρατηρείται εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγής. Έτσι, σύμφωνα με τα στοιχεία από το World Processing Tomato Council, παίρνοντας σα βάση την περίοδο 1978 – 79 (=100), είχαμε το 2005 – 06 στην Ελλάδα 83%, στην Ισπανία 486%, στην Ιταλία 239% και στην Τουρκία 361% (Ανώνυμος, 2007).



Σχήμα 1.4.5. Παραγωγή βιομηχανικής τομάτας σε χώρες – μέλη της Ε.Ε (πηγή Euro stat)

Η επιτραπέζια τομάτα στην Ελλάδα καλλιεργείται ως υπαίθρια σε μια έκταση περίπου 180.000 στρέμματα και δίνει παραγωγή γύρω στους 580.000 τόνους (μέση στρεμματική απόδοση 3,2 τόνους). Καλλιεργείται επίσης σε περίπου 32.000 στρέμματα στο θερμοκήπιο με ετήσια παραγωγή 320.000 τόνους (μέση στρεμματική απόδοση 10 τόνους). Η υπαίθρια καλλιέργεια είναι κατανεμημένη σε μικρά συνήθως αγροτεμάχια σ' όλη σχεδόν τη χώρα ενώ κύρια κέντρα θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι η Κρήτη, η ΝΔ Πελοπόννησος, η Πρέβεζα, η Θεσσαλονίκη, η Χαλκιδική, η

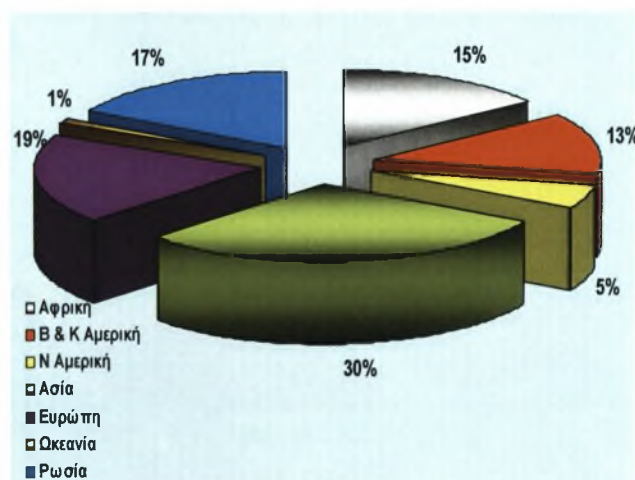
Εύβοια κ.α. Το σύνολο της επιτραπέζιας στη χώρα μας είναι κλασσικοί τύποι μεγαλόκαρπης τομάτας και κερασοτομάτας να βρίσκονται ακόμα σε ασημαντες εκτάσεις και σε στάδιο δοκιμών.

Η βιομηχανική τομάτα στην Ελλάδα καλλιεργείται σε μια έκταση περίπου 130.000 στρέμματα (στοιχεία 2005) και δίνει μέση στρεμματική απόδοση 6,5 τόνους προϊόντος. Οι εκτάσεις κατανέμονται κατά 25% στη Βόρεια Ελλάδα (Μακεδονία, Θράκη), κατά 60% στην Κεντρική Ελλάδα και 15% στη Πελοπόννησο. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας με μεταφύτευση έτοιμων σπορόφυτων κερδίζει συνεχώς έδαφος (ποσοστό σήμερα 60% περίπου) έναντι της απευθείας σποράς (40%). Το ίδιο ισχύει και με τη μηχανική συγκομιδή (70%) έναντι της συγκομιδής με το χέρι (30%). Στη χώρα μας υπάρχουν 25 εργοστάσια επεξεργασίας τομάτας εκ των οποίων τα 4 επεξεργάζονται το 60% της παραγωγής (Ανώνυμος, 2007).

1.4.2. Έκταση σε στρέμματα καλλιέργεια τομάτας ανά ήπειρο

Τη μεγαλύτερη έκταση στην καλλιέργεια τομάτας καταλαμβάνει η Ασία με 7.480.000 στρέμματα. Αμέσως μετά είναι η Ευρώπη και η Ρωσία με 4.630.000 και 4.100.000 στρέμματα αντίστοιχα. Ακολουθούν η Αφρική και η Βόρεια & Κεντρική Αμερική με 3.820.000 και 3.320.000 στρέμματα αντίστοιχα. Έπειτα, η Νότια Αμερική όπου η καλλιέργεια τομάτας ανέρχεται σε 1.330.000 στρέμματα και τέλος, η Ωκεανία με έκταση 110.000 στρέμματα.

Στην Ευρώπη συγκεκριμένα, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλλιεργούν τομάτα σε έκταση 2.671.000 στρεμμάτων εκ των οποίων τα 440.000 στρέμματα καλλιεργούνται στην Ελλάδα.

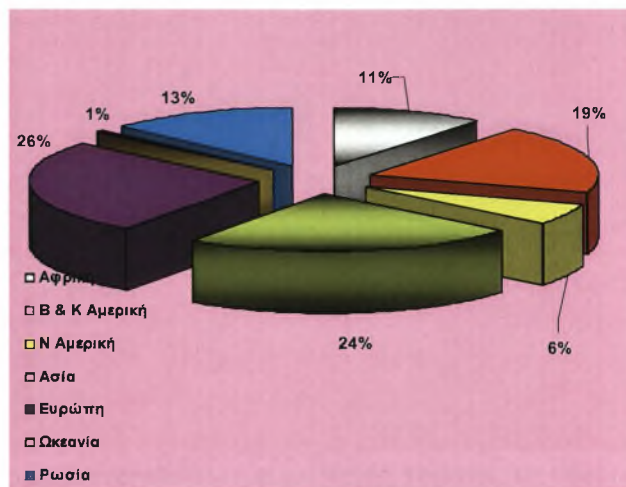


Σχήμα 1.4.6. Σχηματική απεικόνιση εκτάσεων σε στρέμματα καλλιέργεια τομάτας ανά ήπειρο (www.compo.gr).

1.4.3. Παραγωγή τομάτας σε τόνους ανά ήπειρο

Τη μεγαλύτερη ποσότητα σε παραγωγή τομάτας καταλαμβάνει η Ευρώπη με 14.269.000 τόνους. Αμέσως μετά είναι η Ασία με 12.966.000 τόνους. Ακολουθεί η Βόρεια & Κεντρική Αμερική με 10.502.000 τόνους. Στη συνέχεια έχουμε τη Ρωσία, την Αφρική και τη Νότια Αμερική όπου η παραγωγή τομάτας ανέρχεται σε 7.300.000, 5.830.000 και 3.179.000 τόνους αντίστοιχα. Τέλος, η Ωκεανία με παραγωγή 266.000 τόνους.

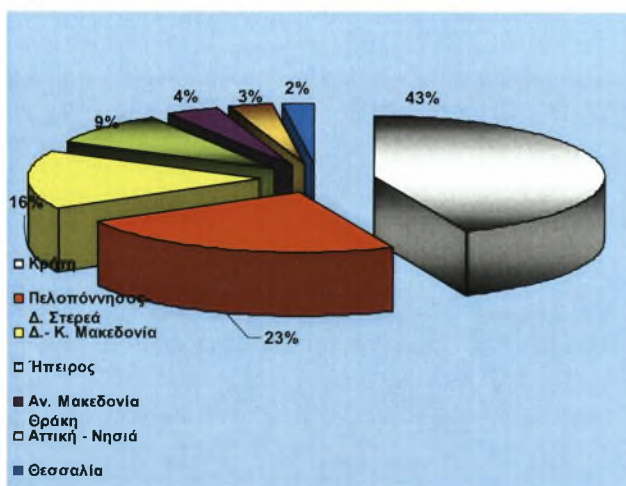
Στην Ευρώπη συγκεκριμένα, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγουν τομάτα σε ποσότητα 8.233.000 τόνων εκ των οποίων οι 1.918.000 τόνοι παράγονται στην Ελλάδα.



Σχήμα 1.4.7. Σχηματική απεικόνιση παραγωγής τομάτας σε τόνους ανά ήπειρο (www.compo.gr).

1.4.4. Καλλιεργούμενη έκταση τομάτας στην Ελλάδα.

Τη μεγαλύτερη έκταση στην καλλιέργεια τομάτας καταλαμβάνει η Κρήτη με 43,3%. Αμέσως μετά είναι η Πελοπόννησος με τη Δ. Στερεά με ποσοστό 23,23%. Ακολουθούν η Δ. και Κ. Μακεδονία με 15,85%, η Ήπειρος με 8,7%, η Αν. Μακεδονία με τη Θράκη με 3,52%, η Αττική με τα Νησιά με 3% και τέλος, η Θεσσαλία με 2,36%.

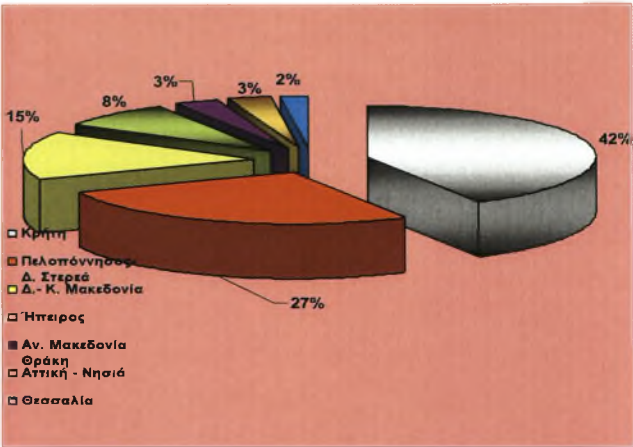


Σχήμα 1.4.8. Σχηματική απεικόνιση καλλιεργούμενης έκτασης τομάτας στην Ελλάδα (www.compo.gr).

1.4.5. Παραγωγή τομάτας σε τόνους στην Ελλάδα.

Τη μεγαλύτερη ποσότητα σε παραγωγή τομάτας καταλαμβάνει η Κρήτη με 53.000 τόνους. Αμέσως μετά είναι η Πελοπόννησος με τη Δ. Στερεά με 33.443 τόνους. Ακολουθεί η Δ. και Κ. Μακεδονία με 18.395 τόνους, η Ήπειρος με 10.516

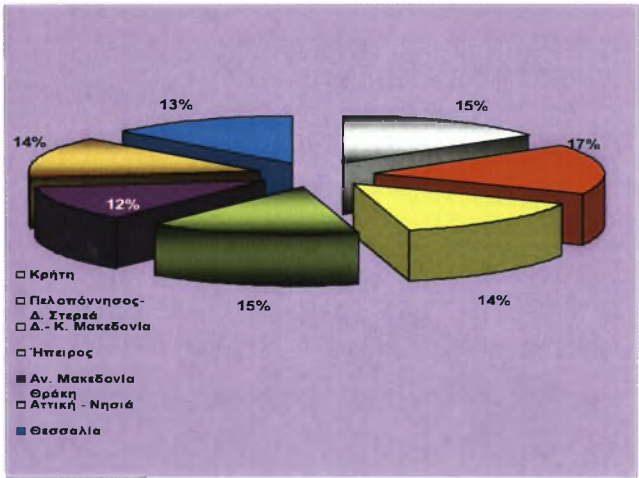
τόνους, η Αν. Μακεδονία με τη Θράκη με 3.454 τόνους, η Αττική με τα Νησιά με 3.354 τόνους και τέλος, η Θεσσαλία με 2.431 τόνους.



Σχήμα 1.4.9. Σχηματική απεικόνιση παραγωγής τομάτας σε τόνους στην Ελλάδα (www.compo.gr).

1.4.6. Αποδόσεις καλλιέργειας τομάτας σε κιλά ανά στρέμμα στην Ελλάδα.

Τις μεγαλύτερες αποδόσεις στην καλλιέργεια τομάτας καταλαμβάνει η Πελοπόννησος με τη Δ. Στερεά με 10,4 κιλά/στρέμμα. Ακολουθούν η Κρήτη με 8,8 κιλά/στρέμμα, η Ήπειρος με 8,7 κιλά/στρέμμα, η Δ. και Κ. Μακεδονία με 8,3 κιλά/στρέμμα, η Αττική με τα Νησιά με 8 κιλά/στρέμμα η Θεσσαλία με 7,4 κιλά/στρέμμα η Αν. Μακεδονία με τη Θράκη με 3.454 τόνους, και τέλος, η Αν. Μακεδονία με τη Θράκη με 7 κιλά/στρέμμα.



Σχήμα 1.4.10. Σχηματική απεικόνιση αποδόσεων καλλιέργειας τομάτας σε κιλά ανά στρέμμα στην Ελλάδα (www.compo.gr).

Κεφάλαιο 2^ο. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση



2.1. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.2.1. Εισαγωγή

Λόγω των προβλημάτων που παρουσιάζουν τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης (τα οποία παρουσιάσαμε και αναλύσαμε παραπάνω), έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται όλο και περισσότερες δοκιμές για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας και τη μετατροπή της σε θερμική, σε διάφορα μέρη του κόσμου.

2.2.2. Χρήσεις παθητικού συστήματος θέρμανσης

Οι Saravia et. al. (1997) αναφέρουν ότι δοκίμασαν τη χρήση ενός συστήματος συλλογής ηλιακής ενέργειας με σωλήνες νερού (οι οποίοι όπως έχει αναφερθεί χρησιμεύουν ως συλλέκτες ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της μέρας και την διοχετεύουν στο χώρο κατά τη διάρκεια της νύχτας) για τη θέρμανση θερμοκηπίου, στη Salta της Αργεντινής, με σκοπό την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της νύχτας. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις μετεωρολογικές συνθήκες της Salta, όπου αναμένονται κάθε χρόνο 12 ημέρες παγετού με ελάχιστες θερμοκρασίες κάτω των -8°C . Οι πρώτες δοκιμές έγιναν σ' ένα πλαστικό θερμοκήπιο 600m^2 το οποίο εγκαταστάθηκε από το INTA (Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria).

Η δομή του θερμοκηπίου αποτελούνταν από ξύλινα δοκάρια και σύρματα, όπως επίσης σαν κάλυμμα χρησιμοποιήθηκε ένα προστατευτικό UV απλής, πλαστικής πολυαιθυλενικής ταινίας. Το πλαστικό δοκιμάστηκε επίσης ενάντια στις υπέρυθρες απώλειες. Το θερμοκήπιο έχει 12m πλάτος και 50m μήκος και διαιρείται σε δύο ίσα μέρη με έναν διαφανή πλαστικό τοίχο.

Μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- ☉ Τόσο η θερμική όσο και η λειτουργική συμπεριφορά του ηλιακού συστήματος θέρμανσης ήταν ικανοποιητική. Το σύστημα ήταν ικανό να ελέγχει τα προβλήματα παγετού μέσα στο θερμοκήπιο αν και ως κάλυμμα χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα απλό πλαστικό.
- ☉ Δεν εντοπίστηκαν στοιχειώδη λειτουργικά προβλήματα αλλά συστάθηκαν κάποιες μικρές αλλαγές, όπως η χρήση καλύτερων φίλτρων.
- ☉ Το χαμηλό κόστος είναι ένα από τα πιο σημαντικά σημεία που πρέπει να εξετάζεται κατά το σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης.
- ☉ Στους συλλέκτες πρέπει να χρησιμοποιούνται ταινίες πολυαιθυλενίου.
- ☉ Πρέπει να πραγματοποιείται επιπλέον εργασία για τη "σύνδεση" των συστημάτων θέρμανσης και στάγδην άρδευσης έτσι ώστε να έχουμε ως αποτέλεσμα το μειωμένο αρχικό σύστημα. Οι αντλίες και οι "αποθήκες" νερού πρέπει να χρησιμοποιούνται και από τα δύο συστήματα.
- ☉ Οι θερμοκρασίες του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του απογεύματος μπορεί να είναι υπερβολικές τις ηλιόλουστες ημέρες, ακόμα και το χειμώνα, και οι πλευρικές κουρτίνες σηκώνονται πολύ συχνά.
- ☉ Η ένταση της αποθήκευσης είναι ικανή να ελέγξει τα προβλήματα παγετού. Οι καλύτερες εντάσεις στο θερμοκήπιο μπορούν να αποκτηθούν εάν χρησιμοποιηθούν επιπρόσθετα παθητικά στοιχεία, όπως κουρτίνες οι οποίες υφίστανται μετατόπιση κατά τη διάρκεια της νύχτας.

- Ⓢ Τέλος, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης, για ψύξη το καλοκαίρι, απορροφώντας τη θέρμανση από το χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας και εξαλείφοντάς την νύχτα στον περιβάλλοντα αέρα. Το νερό που αποθηκεύεται μπορεί να παγώσει τη νύχτα από τη εναλλαγή με του αέρα.

Οι Ben Amor et al. (1990) μετά από πολλά πειράματα που έκαναν στην Gafsa της Τυνησίας σχετικά με τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποίησαν γεωθερμικό νερό σε χαμηλές θερμοκρασίες (22 – 25 °C). Λόγω των άσχημων αποτελεσμάτων που λάμβαναν, τα οποία επηρεάζονταν από διάφορες συνθήκες, δοκίμασαν ένα άλλο σύστημα στο οποίο χρησιμοποιούνταν παθητική ηλιακή ενέργεια σε μια καλοκαιρινή καλλιέργεια πεπονιού, που αποτέλεσε δεύτερη καλλιέργεια μετά από καλλιέργεια τομάτας.

Σ' αυτό το πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν πέντε θερμοκήπια, σε δυο από αυτά χρησιμοποιήθηκαν ενεργητικές χαμηλές θερμοκρασίες γεωθερμικής θέρμανσης χρησιμοποιώντας νερό αποσπώμενο από καλό βάθος και κυκλοφορούμενο σε μαύρους ακτινοβολούμενους μικρούς ή μεγάλους πλαστικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου 55 mm. Σε δύο άλλα θερμοκήπια εφαρμόστηκε θέρμανση με παθητικό ηλιακό σύστημα χρησιμοποιώντας μεγάλους πλαστικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου (διαμέτρου 320 mm) συμπληρωμένους με νερό, οι οποίοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και τη διανέμουν στο χώρο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Υπήρχαν τέσσερις σωλήνες στο πρώτο θερμοκήπιο και οχτώ σωλήνες στο άλλο. Το πέμπτο θερμοκήπιο αποτελούσε το μάρτυρα.

Τα αποτελέσματα ήταν ένα κέρδος χαμηλών θερμοκρασιών από 5 σε 9°C συγκρινόμενο με το θερμοκήπιο το οποίο αποτελούσε το μάρτυρα και επίσης η θερμοκρασία του φύλλου και του εδάφους σε βάθος 0.1m. Σημειώθηκε επίσης και ένα κέρδος πρόωρης ανάπτυξης 2 ή 3 εβδομάδων και περισσότερο εισόδημα. Αυτό το κέρδος δικαιολογεί ευρύτατα την επένδυση που χρειάζεται για τον εξοπλισμό. Επιπλέον, το σύστημα ήταν εύκολο να χρησιμοποιηθεί από τους αγρότες και να εξαπλωθεί σε όλη τη βόρεια Τυνησία, και γενικότερα όπου δεν υπάρχει γεωθερμικό νερό ή όπου είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται μόνο η ηλιακή ενέργεια η οποία υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα, ακόμα και το χειμώνα επειδή υπάρχει κατά μέσο όρο εφτά με εννιά ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα με μέσο όρο 240 cal/cm² σ' αυτή την περίοδο.

Ο Grafiadellis αναφέρει ότι κατά τη διάρκεια της διερεύνησης του παθητικού συστήματος θέρμανσης έγιναν πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν στη Θεσσαλονίκη. Για την διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα θερμοκήπια των 150 m² και άλλα τέσσερα των 500 m². Κατά τη διάρκεια του πρώτου χρόνου διορθώθηκαν τυχόν προβλήματα που υπήρχαν από τη χρησιμοποίηση του νέου αυτού συστήματος (διάμετρος και πάχος των πλαστικών σωλήνων, τύπος του πλαστικού, όγκος του απαραίτητου νερού κ.α). κατά τη διάρκεια του δεύτερου χρόνου πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα.

✚ Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τα τέσσερα θερμοκήπια των 150 m² τα οποία είχαν καλυφθεί διπλά από όλες τις μεριές και:

1. Το πρώτο θερμοκήπιο καλύφθηκε με μια ταινία πολυαιθυλενίου και θερμαινόταν μ' έναν συλλέκτη-διανομέα ηλιακής ενέργειας,
2. Στο δεύτερο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας δεν υπήρχε θέρμανση, απλά υπήρχε μια προσωρινή θερμάστρα για περιπτώσεις παγετού,

3. Στο τρίτο η θέρμανση πραγματοποιήθηκε με πλαστικούς σωλήνες, οι οποίοι ήταν γεμάτοι με νερό. Η κάλυψη είχε γίνει με θερμικό πολυαιθυλένιο (PE IR) και τέλος,
4. Το τέταρτο θερμαινόταν με τους ίδιους πλαστικούς σωλήνες αλλά η κάλυψη πραγματοποιήθηκε με δύο στρώματα πολυαιθυλενίου.

Στα θερμοκήπια αυτά καλλιεργήθηκαν τομάτα, πιπεριά, αγγούρι και μελιτζάνα αντίστοιχα. Στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας, παρατηρήθηκε ότι παρ' όλο τις εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες (-11°C) η καλλιέργεια όχι μόνο επέζησε αλλά είχε και ικανοποιητικά αποτελέσματα.

✚ Στο δεύτερο πείραμα πραγματοποιήθηκε στα τέσσερα θερμοκήπια των 500 m^2 .

1. Το ένα απ' αυτά καλύφθηκε με μια ταινία πολυαιθυλενίου και θερμαινόταν με σωλήνες γεμάτους νερό,
2. Στο δεύτερο είχαμε θερμοκήπιο με διπλό τοίχο το οποίο θερμαινόταν όπως το πρώτο,
3. Το τρίτο καλύπτονταν με ταινία πολυαιθυλενίου και θερμαινόταν όπως τα προηγούμενα και είχε συσκευή εξαερισμού των 7000 m^3 ικανότητας επανακυκλοφόρησης του αέρα.
4. Τέλος, το τέταρτο καλύπτονταν με ταινία πολυαιθυλενίου και θερμαινόταν με μια θερμάστρα πετρελαίου στους 12°C . Σ' αυτά τα θερμοκήπια καλλιεργήθηκαν τέσσερις ποικιλίες τομάτας.

Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από αυτήν την περίοδο των πειραμάτων ήταν:

- ☉ Το πιο εφαρμόσιμο υλικό για την κατασκευή των πλαστικών σωλήνων είναι το διαφανή, μακράς ζωής, πολυαιθυλένιο πάχους 250 μέτρων και διαμέτρου 31.8 εκατοστών.
- ☉ Οι σωλήνες που είναι γεμάτοι με νερό πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον το 35% της επιφάνειας του θερμοκηπίου και πρέπει να περιέχουν 80 m^3 νερού ανά 1000 m^2 θερμοκηπίου.
- ☉ Για να αυξήσουμε την απόδοση του νέου ηλιακού συστήματος, θα πρέπει να τοποθετήσουμε κάτω από τους σωλήνες νερού μαύρη ταινία πολυαιθυλενίου και ένα πλαστικό φύλλο φυσαλίδων απομόνωσης.
- ☉ Από τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα αποδεικνύεται ότι τη μεγαλύτερη πρώιμη παραγωγή την έχει το θερμοκήπιο με την διπλή κάλυψη οροφής το οποίο θερμαινόταν από τους σωλήνες νερού καθώς την υψηλότερη συνολική παραγωγή την έχει το θερμοκήπιο το οποίο καλύπτονταν από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου και θερμαινόταν από τους σωλήνες νερού. Οι διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων ήταν στατιστικώς σημαντικές σε επίπεδο του 0.05, η μικρή συνολική παραγωγή δόθηκε στο θερμοκήπιο με τη διπλή κάλυψη εξαιτίας της απροσδόκητης ζημιάς που είχαν υποστεί τα φυτά από αρρώστια.
- ☉ Το θερμοκήπιο το οποίο θερμαινόταν με μια θερμάστρα πετρελαίου στους 12°C (καταναλώθηκαν 6000 L πετρελαίου/ 1000 m^2), έδωσε μικρή πρώιμη παραγωγή συγκρινόμενη με το θερμοκήπιο διπλής κάλυψης και μικρή συνολική παραγωγή συγκρινόμενη με τα άλλα δύο θερμοκήπια στα οποία είχαμε το παθητικό σύστημα θέρμανσης.

Η έρευνα αυτή έδειξε ότι ακόμα και με άσχημες καιρικές συνθήκες, όπως αυτές που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του πειράματος το Φεβρουάριο στη Θεσσαλονίκη (πολλές φορές κάτω του -7°C), από την ηλιακή ακτινοβολία που έπεσε

σε 1000 m² θερμοκηπίου, και ήταν περίπου ίση με 2.629 λίτρα πετρελαίου, χρησιμοποιήθηκε από το ηλιακό σύστημα περισσότερο από το ένα τρίτο.

Με την εφαρμογή του νέου ηλιακού συστήματος σε 10.000 ha θερμοκηπίων και στις χαμηλές σήραγγες της χώρας μας, σπαταλούμε κάθε χρόνο ηλιακή ενέργεια ίση με 1.800.000 τόνους πετρελαίου που αν συλλεχθεί θα αυξήσουμε την ποιότητα και την παραγωγή των περισσότερων καλλιεργειών.

Ήδη η χρησιμοποίηση ηλιακού συστήματος άρχισε να εφαρμόζεται λόγω του ότι είναι απλό και αποτελεσματικό.

Οι Chen et al. (2004) μελέτησαν την μεταφορά της θέρμανσης και τη ροή του αέρα σ' ένα θερμοκήπιο με παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης, καθώς και την αποθήκευση θερμότητας. Η θερμική μόνωση της ηλιακής θέρμανσης του χώρου έχει σημαντικά αποτελέσματα στην κατανομή της θερμοκρασίας και τη ροή του αέρα στον θερμικό θάλαμο αυτού του ηλιακού συστήματος. Επίσης μελετήθηκε η μεταφορά της θερμότητας και η ροή του αέρα σ' ένα πέτρωμα, το οποίο χρησιμοποιείται σαν απορροφητής ηλιακής ενέργειας και "στρώμα" αποθήκευσης. Εάν το πορώδες διατηρείται σ' ένα ορισμένο εύρος, αυξάνεται το μέγεθος του πετρώματος εξαιτίας της αύξησης της ικανότητας της θερμικής αποθήκευσης και των αποτελεσμάτων θέρμανσης. Αύξηση του πορώδους των υλικών θερμικής αποθήκευσης συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και μείωση της πέτρινης μάζας. Η ικανότητα της ειδικής θερμότητας και η θερμική αγωγιμότητα έχουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στη μέση θερμοκρασία του πέτρινου στρώματος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης.

Η παθητική ηλιακή θέρμανση χρησιμοποιείται ευρέως σε ψυχρά κλίματα. Πολλές τεχνικές παθητικής θέρμανσης, όπως για παράδειγμα μια διαφανή μόνωση χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό κτιρίων. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η θέρμανση χώρων με παθητική ηλιακή θερμότητα καθώς και η αποθήκευση αυτής της θερμότητας λειτουργεί καλύτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπου η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητη για το ηλιακό σύστημα θέρμανσης.

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε μια ειδική δομή στο ηλιακό σύστημα θέρμανσης, η οποία λειτουργεί σαν απορροφητής με λειτουργία στην αποθήκευση θερμότητας, για να μειώσει το κόστος του συστήματος. Το κύριο αντικείμενο της παρούσας μελέτης εστιάζεται στις στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας με χαμηλότερο κόστος και τη διατήρηση της θερμικής άνεσης στα ψυχρά κλίματα των κτιρίων.

Οι μελετητές της εργασίας αυτής μετά το τέλος του πειραματικών διαδικασιών κατέληξαν στα παρακάτω αποτελέσματα:

- ☉ Η θερμοκρασία του θερμοκηπίου με την ηλιακή θέρμανση και το "στρώμα" αποθήκευσης θερμότητας αυξήθηκε πάνω από 10°C από αυτή που περιβάλλει το χώρο το χειμώνα, έτσι η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της χρησιμοποίησης ηλιακής ενέργειας.
- ☉ Τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική μόνωση του τοιχώματος της ηλιακής θέρμανσης του χώρου είχε σημαντικές επιδράσεις στην διανομή της θερμοκρασίας και τη ροή του αερίου στο θερμαινόμενο χώρο. Τα τοιχώματα του θερμαινόμενου χώρου πρέπει να είναι καλά μονωμένα.
- ☉ Η θερμική απορρόφηση, η αποθήκευση και η μόνωση είναι οι κύριοι παράγοντες σ' αυτό το σύστημα θέρμανσης.
- ☉ Η ικανότητα ειδικής θέρμανσης και η θερμική ικανότητα μετάδοσης είχαν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στη μέση θερμοκρασία του πετρώματος στο

σύστημα θέρμανσης. Η μέση θερμοκρασία της υψηλότερης θερμικής αποθήκευσης του πετρώματος ήταν χαμηλότερη όταν υπήρχε ηλιοφάνεια. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμική αποθήκευση του πετρώματος είχε υψηλότερη θερμοκρασία όταν δεν υπήρχε ηλιοφάνεια. Συνεπώς, όταν σχεδιάζουμε ένα πέτρωμα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σαν ηλιακός απορροφητής και “χώρος” αποθήκευσης θερμότητας, ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης, το μέγεθος του πετρώματος και το “στρώμα” του πορώδους πρέπει να επιλεχθούν σωστά για να αυξηθεί η θερμοκρασία της θερμικής αποθήκευσης καθώς και η αποτελεσματικότητά της.

Οι Santamouris et al. (1994) παρουσίασαν τα αποτελέσματα από μια πρόσφατη μελέτη 95 ηλιακών θερμοκηπίων σ’ όλο τον κόσμο. Χρησιμοποιήθηκαν πέντε κατηγορίες παθητικών ηλιακών θερμοκηπίων, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του αποθηκευτικού συστήματος θέρμανσης, ειδικότερα, νερό, αφανής υλικό θερμότητας, πέτρωμα, “θαμμένους” σωλήνες, και κάποιοι άλλοι τύποι συστημάτων.

Τα ηλιακά θερμοκήπια εισχωρούν στην αγορά της αγροτικής παραγωγής, κατά τη τελευταία δεκαετία. Για να επιτύχουν ιδανικές εσωτερικές συνθήκες, είναι απαραίτητο να εξοπλίσουμε τα θερμοκήπια με τα κατάλληλα συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Αυτά τα συστήματα χρειάζονται για να εξισορροπούν τις ακραίες υπαίθριες κλιματικές διακυμάνσεις, ειδικότερα κατά τη διάρκεια των ψυχρών χειμωνιάτικων νυχτών και των θερμών καλοκαιρινών ημερών. Η ψύξη μπορεί να επιτευχθεί, στις περισσότερες περιπτώσεις, από απλές τεχνικές αερισμού, όπως από πλαϊνά και ανοίγματα οροφής. Ακόμη και κατά τη διάρκεια των ηλιόλουστων χειμωνιάτικων ημερών, ειδικότερα σε περιοχές με χαμηλό γεωγραφικό πλάτος, η θερμοκρασία μέσα στα θερμοκήπια φθάνει πολύ υψηλά επίπεδα, επομένως απαιτείται κατάλληλος φυσικός ή μηχανικός αερισμός.

Τα παθητικά ηλιακά θερμοκήπια περιλαμβάνουν θερμοκήπια στα οποία το σύστημα συλλογής θερμότητας είναι ενιαίο. Το θερμοκήπιο, από μόνο του, μπορεί να χρησιμεύσει ως συλλέκτης. Στα παθητικά ηλιακά συστήματα, η ενέργεια δεσμεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη τη νύχτα, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες.

Για την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας όπως αναφέρθηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν πέντε κατηγορίες θερμοκηπίων:

- ☀ 40 θερμοκήπια που αποθήκευαν την ενέργεια με τη χρήση νερού,
- ☀ 11 θερμοκήπια που χρησιμοποίησαν αφανή υλικό θερμότητας,
- ☀ 14 θερμοκήπια με τη χρήση πετρώματος,
- ☀ 18 θερμοκήπια όπου σαν αποθηκευτικός χώρος της ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το έδαφος χωρίς τη χρήση “θαμμένων” σωλήνων και
- ☀ τέλος, 12 άλλα θερμοκήπια στα οποία χρησιμοποιήθηκαν άλλοι τύποι αποθήκευσης θερμότητας.

Τελικά μετά από αυτή τη μελέτη κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ☑ Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι υψηλής σημασίας τόσο για τους παραγωγούς που εκμεταλλεύονται αυτά τα θερμοκήπια όσο και για την εθνική οικονομία.
- ☑ Τα παθητικά ηλιακά συστήματα μπορεί να είναι ενιαία μέσα στα θερμοκήπια για να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση για θέρμανση. Τα συστήματα αυτά ομαδοποιούνται σύμφωνα με την αποθήκευση της θερμότητας, και μπορεί να είναι νερό, πέτρωμα,

έδαφος κ.α., μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Η θερμότητα αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και διοχετεύεται στο χώρο τη νύχτα, καλύπτοντας τις ανάγκες θερμότητας στο θερμοκήπιο.

- ☉ Τα παθητικά ηλιακά συστήματα έχουν ένα χαμηλό αρχικό και λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα.
- ☉ Γενικά, η απόδοση των συστημάτων εξαρτάται αποκλειστικά στις επικρατούσες εξωτερικές καιρικές συνθήκες.
- ☉ Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν σωλήνες νερού για την αποθήκευση ενέργειας μπορεί να είναι αποτελεσματικά σε εσωτερικές θερμοκρασίες αέρα, οι οποίες είναι 2–4 °C υψηλότερες από την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία. Η χρήση του νερού από βαρέλια μπορεί να εκπληρώσει το 70-75% των αρχικών αναγκών θερμότητας ή να ξεπεράσει τις εσωτερικές θερμοκρασίες κατά 2 έως 10 °C από την θερμοκρασία που περιβάλλει το χώρο. Η χρήση του νερού από δεξαμενές μπορεί να ξεπεράσει τις εσωτερικές θερμοκρασίες κατά 2 έως 15 °C από τις νυχτερινές εξωτερικές θερμοκρασίες και καλύπτουν τις αρχικές απαιτήσεις θερμότητας κατά 20 έως 50%.

Οι Bouam et al. αναφέρουν ότι η χρήση του παθητικού συστήματος θέρμανσης με πλαστικούς σωλήνες νερού στα μεσογειακά θερμοκήπια έχουν διαδοθεί για να αυξήσουν τις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα, του εδάφους και των φυτών από 2 σε 4 °C (Γραφιαδέλλης 1990), να μειώσουν τις υψηλές θερμοκρασίες του αέρα από 1.1 σε 6.9 °C (Sallambas et al., 1989) και τη σχετική υγρασία σε 6-12% (Γραφιαδέλλης, 1986, Nisen et al., 1990). Ένα τέτοιο σύστημα είναι απλό, φτηνό, εύκολα κατανοήσιμο από τους παραγωγούς και λειτουργεί όταν τα ενεργητικά συστήματα αποτυγχάνουν παρ' όλη την απουσία του ελέγχου και τις δυσκολίες για προσαρμογή στην αρχιτεκτονική του θερμοκηπίου.

Ένα παθητικό ηλιακό σύστημα χρησιμοποιήθηκε σε καλλιέργεια πεπονιού με αποτέλεσμα τη δημιουργία ομοειδών καρπών, ειδικά των ανθέων, που βρισκόταν στο αρχικό μέγεθος ανάπτυξης όπου κανονικά είναι στείρα, που προπορεύονται τους πρώιμους καρπούς. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση της καλλιέργειας στην πρώτη συγκομιδή.

Οι Grafiadellis et al. μεταξύ της μεγάλης ποικιλίας ηλιακών συστημάτων για τη θέρμανση των θερμοκηπίων σε διάφορες χώρες, θεώρησαν ότι το πιο αποδεκτό, για πρακτικές εφαρμογές από τους παραγωγούς, ήταν το παθητικό ηλιακό σύστημα με σωλήνες νερού το οποίο σχεδιάστηκε στο Γεωπονικό Ερευνητικό Κέντρο της Βόρειας Ελλάδας (Agricultural Research Center). Ο λόγος ήταν ότι το ηλιακό αυτό σύστημα θεωρήθηκε πιο απλό στην κατασκευή του και επίσης ήταν πολύ αποτελεσματικό στη χρήση του. Με το σύστημα αυτό η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και εκπέμπεται στο χώρο του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας γίνεται από τους στρωμένους σωλήνες νερού οι οποίοι βρίσκονται μέσα στις σειρές των φυτών. Οι ίδιοι σωλήνες νερού χρησιμοποιούνται και σαν θερμά αποθέματα. Κάτω από τους σωλήνες νερού τοποθετείται μια μαύρη ταινία πολυαιθυλενίου για την αύξηση της αποδοτικότητας του συστήματος και την αποφυγή ανάπτυξης ζιζανίων.

Από την έρευνα συλλέχθηκαν δεδομένα, κατά τη διάρκεια του 1977 – 1988, σ' αυτό το ηλιακό σύστημα βρέθηκε:

- ☉ Το πιο κατάλληλο πλαστικό υλικό για την κατασκευή των σωλήνων νερού είναι μιας καλής ποιότητας απλή ταινία πολυαιθυλενίου πάχους 100 – 125 μ ,
- ☉ Το καλύτερο μέγεθος περιμέτρου των σωλήνων αυτών είναι 100 – 120 cm,
- ☉ Οι σωλήνες νερού πρέπει να καλύπτουν 35-40 % της επιφάνειας του θερμοκηπίου, και
- ☉ Το σύστημα αυτό αυξάνει την θερμοκρασία του αέρα, του εδάφους και των φυτών έως 3 με 5 $^{\circ}\text{C}$ και επιδρά σημαντικά στην παραγωγή των φυτών.

Οι Santamouris et al. (1994) περιέγραψαν το σχέδιο, την κατασκευή και τη λειτουργία ενός πρωτότυπου παθητικού ηλιακού θερμοκηπίου 1000m². Το θερμοκήπιο σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μειώνει τις θερμικές απώλειες και να αυξάνει τα ωφέλιμα ηλιακά κέρδη σε ημερήσια και εποχιακή βάση. Τα παθητικά στοιχεία του θερμοκηπίου αποτελούν μια μηχανή αποθήκευσης. Η θέρμανση και η ψύξη των θερμοκηπίων είναι από τους πιο κυρίαρχους ενεργειακούς τομείς μεταξύ των γεωργικών δραστηριοτήτων. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη θέρμανση των θερμοκηπίων ποικίλει μεταξύ των 7 έως 8 λίτρα πετρελαίου ανά τετραγωνικό μέτρο στη νότια Ευρώπη και 80 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο στη βόρεια. Μελέτες στις στρατηγικές της θέρμανσης των θερμοκηπίων έχουν δείξει ότι στο Νότο, το κόστος της θέρμανσης υπερβαίνει το 30% του συνολικού λειτουργικού κόστους του θερμοκηπίου. Εξαιτίας του υψηλού σχετικού κόστους της ενέργειας, μόνο ένας μικρός αριθμός παραγωγών θερμοκηπίων έχουν την δυνατότητα χρήσης επιβοηθητικών συστημάτων θέρμανσης. Έχει αναφερθεί ότι στην Ελλάδα μόνο το 6–7% των γεωργικών θερμοκηπίων χρησιμοποιούν σύστημα θέρμανσης. Αυτό απεικονίζει, παρ' όλα αυτά, το 0,5% της συνολικής αρχικής εθνικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η απουσία της θέρμανσης έχει μια σημαντική επίδραση στην καλλιέργεια, όπως επίσης στον χρόνο της καλλιέργειας και την ποιότητα των προϊόντων. Η ενεργοποίηση του χαμηλού κόστους είναι η χρήση εναλλακτικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Οι προσπάθειες μιας έρευνας για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα θερμοκήπια έχουν καθοδηγηθεί προς τέσσερις κρίσιμες κατευθύνσεις:

- ☉ Να μειώσει τις ενεργειακές απώλειες στο θερμοκήπιο με τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων υλικών.
- ☉ Να αναπτυχθούν φυτά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- ☉ Να αποδειχθεί η αποδοτικότητα του συμβατικού συστήματος θέρμανσης.
- ☉ Να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων έχει σαν κέρδος μια αυξανόμενη αποδοχή κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών. Εκατό ηλιακά θερμοκήπια, έχουν πρόσφατα δοκιμαστεί με ικανοποιητικά τεχνικά αποτελέσματα.

Αρκετοί τύποι παθητικών συστημάτων συλλογής και αποθήκευσης έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί. Σ' όλες τις περιπτώσεις βασική προϋπόθεση είναι να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας και την ίδια στιγμή να αποθηκευτούν τα πλεονάσματα ενέργειας για χρήση κατά τη διάρκεια περιόδων όπου υπάρχει ανεπάρκεια ενέργειας.

Οι Traka-Mavrona et al. μελέτησαν, σε τρία θερμοκήπια, την επίδραση συστημάτων θέρμανσης σε σχέση με την παραγόμενη ποσότητα τομάτας. Τα συστήματα που εφαρμόστηκαν ήταν: στο πρώτο τοποθετήθηκε ένα παθητικό ηλιακό σύστημα, στο δεύτερο ένας λέβητας πετρελαίου και τέλος, στο τρίτο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, τοποθετήθηκε ένα σύστημα κατά του παγετού. Οι καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα υβρίδια Carpy, Tresor, Caruso, Arletta, Carmello and Dombó, η σειρά Gr-p και η ποικιλία Gr-m.

Από τα αποτελέσματα του πειράματος βρέθηκε ότι το ηλιακό σύστημα επηρέασε κατά κύριο λόγο το σύνολο ενώ εκεί που χρησιμοποιήθηκε λέβητας πετρελαίου παρατηρήθηκε ότι επηρεάστηκε η πρώιμη παραγωγή. Οι καρποί του θερμοκηπίου – μάρτυρα παρουσίασαν μεγαλύτερη δυσμορφία και μειωμένο βάρος. Το μέσο βάρος των καρπών της πρώιμης παραγωγής ευνοήθηκε στο θερμοκήπιο όπου χρησιμοποιήθηκε ο λέβητας πετρελαίου, αλλά αργότερα την Άνοιξη το ηλιακό σύστημα ήταν πιο αποτελεσματικό. Τα υβρίδια Arletta, Carmello, Tresor, Caruso, Dombó και η σειρά Gr-p έδωσαν την υψηλότερα εμπορεύσιμη παραγωγή. Την ελάχιστη δυσμορφία καρπών παρουσίασαν οι καρποί των υβριδίων Caruso, ενώ τη μεγαλύτερη οι καρποί των υβριδίων Arletta. Οι καρποί των υβριδίων Tresor, Carpy και Arletta παρήγαγαν τους περισσότερους μειωμένου βάρους καρπούς.

Οι Mattas et al δοκίμασαν και ανέπτυξαν το παθητικό ηλιακό σύστημα διότι τα ενεργειακά κόστη επηρέασαν σημαντικά το εισόδημα των καλλιεργητών, οι οποίοι ασχολούνται με την ανάπτυξη διαφόρων καλλιεργειών στα θερμοκήπια. Το σύστημα αυτό υιοθετείται ευρέως σε θερμοκήπια τα οποία ειδικεύονται συγκεκριμένα στην πρώιμη παραγωγή τομάτας.

Μελετήθηκε η οικονομική αποδοτικότητα της υιοθέτησης του παθητικού αυτού συστήματος σε θερμοκήπια πρώιμης παραγωγής τομάτας. Επιπλέον, μελετήθηκαν οι εποχιακοί και οι οικονομικοί παράγοντες καθώς και οι προσδοκώμενες τιμές, για να αποφασιστούν τα πλήρη κέρδη από τη χρησιμοποίηση αυτής της νέας τεχνολογίας.

Ο Ch. Pavlou μελέτησε τη χρήση πέντε διαφανών σωλήνων, γεμάτων με νερό, οι οποίοι είχαν διαφορετική περίμετρο, σ' ένα παθητικό ηλιακό σύστημα για τη θέρμανση θερμοκηπίου. Μετά το πέρας αυτής της πειραματικής διαδικασίας, κατέληξε στα ακόλουθα αποτελέσματα:

- ☉ Η σχέση μεταξύ της περιμέτρου του σωλήνα και του ποσού ενέργειας που συλλέχθηκε και απελευθερώθηκε από κάθε μέτρο του σωλήνα μπορεί να απεικονιστεί από μια θετική παραβολή.
- ☉ Η αποδοτικότητα των σωλήνων νερού στην απελευθέρωση θερμικής ενέργειας εκφράζεται ως η αναλογία της ενέργειας που απελευθερώνεται προς αυτή που συλλέγεται.
- ☉ Κάτω από ανεπιθύμητες συνθήκες, όπως χαμηλής έντασης ακτινοβολίες οι οποίες ακολουθούνται από χαμηλές θερμοκρασίες αέρα, η υπεροχή των μεγάλων σωλήνων έναντι των μικρών, είναι ξεκάθαρη. Η ημερήσια ισορροπία της θερμικής ενέργειας των σωλήνων ήταν συνήθως αρνητική, όπως για παράδειγμα, το ποσό της ενέργειας που απελευθερωνόταν ήταν μεγαλύτερο από αυτό που είχε συλλεχθεί.
- ☉ Κάτω από επιθυμητές συνθήκες, όπως υψηλής έντασης ακτινοβολίες οι οποίες ακολουθούνται από ήπιες θερμοκρασίες αέρα, η αποδοτικότητα της απελευθέρωσης είναι συνήθως ελαφρώς

υψηλότερη στους μικρούς σωλήνες, με συνήθως θετική ημερήσια ισορροπία ενέργειας σ' όλους τους σωλήνες, όπως για παράδειγμα, το ποσό της ενέργειας που απελευθερωνόταν ήταν μικρότερο από αυτό που είχε συλλεχθεί.

- ☉ Κάτω από ενδιάμεσες συνθήκες, οι αποδοτικότητες αυτές διέφεραν ελαφρώς ή ήταν ίσες για όλους τους σωλήνες με είτε θετική είτε αρνητική ημερήσια ισορροπία ενέργειας.

Οι Mavrogianopoulos et al. (1993) διεκπεραίωσαν ένα πείραμα για να μελετήσουν τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποιώντας παθητικό ηλιακό σύστημα βασισμένο στο νερό, το οποίο αποτελεί στρώμα συλλογής και αποθήκευσης. Σ' αυτό το σύστημα, το αποθηκεύεται σ' ένα φτηνό, διαφανή σωλήνα πολυαιθυλενίου, τοποθετημένο στο έδαφος του θερμοκηπίου μεταξύ των σειρών των φυτών.

Σ' ένα θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας (2,2 μέτρα ύψους) και παθητικό ηλιακό περίβλημα η μέση ελάχιστη θερμοκρασία ήταν 3 έως 4 °C υψηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και 1 °C υψηλότερη από τον αέρα του θερμοκηπίου που αποτελεί το μάρτυρα (το οποίο δεν έχει κανένα σύστημα θέρμανσης). Κατά τη διάρκεια του Ιανουαρίου, η συλλογή της ηλιακής ενέργειας στο θερμοκήπιο με το ηλιακό περίβλημα αυξήθηκε κατά 90%.

Θεωρητικοί υπολογισμοί έδειξαν ότι χρησιμοποιώντας ηλιακό περίβλημα σ' ένα θερμοκήπιο με συμβατικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να εξοικονομήσει πάνω από 8% της ενέργειας που εισάγεται. Σ' ένα θερμοκήπιο με μικρά φυτά, η απόδοση του παθητικού ηλιακού περιβλήματος είναι πολύ υψηλότερη από αυτή σε θερμοκήπιο με ψηλά φυτά. Τα παθητικά ηλιακά περιβλήματα με λιγότερο νερό αλλά με την ίδια αποτελεσματική επιφάνεια απελευθέρωσης κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας, κατέληξαν στα εξής αποτελέσματα:

- ☉ Όσον αφορά τη θερμοκρασία, παρατηρήθηκε ότι στο πειραματικό θερμοκήπιο (σ' ένα ύψος 1,5 μέτρα πάνω από το έδαφος) είχε μια μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα 2 έως 4 °C υψηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και 1 °C υψηλότερη από τη θερμοκρασία των θερμοκηπίων που χρησιμοποιήθηκαν σαν πηγές,.
 - Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων μέγιστων θερμοκρασιών μεταξύ του πειραματικού θερμοκηπίου και αυτού που αποτελούσε το μάρτυρα. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία του αέρα ήταν 5 με 7 °C υψηλότερη από τη μέγιστη θερμοκρασία του νερού, και η μέση ελάχιστη ήταν 4 με 6 °C χαμηλότερη.
 - Παρατηρήθηκε επίσης, ότι κατά τη διάρκεια μιας νύχτας, η οποία ακολουθείται από μια μέρα με αρκετή ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία του αέρα διαφέρει μεταξύ του πειραματικού θερμοκηπίου και του μάρτυρα είναι πολύ υψηλότερη από την θερμοκρασία του αέρα, όταν η νύχτα ακολουθείται από μουντή ημέρα.
 - Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η μέση θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 15 εκατοστών, κατά τη διάρκεια όπου οι

μέρες είναι μουντές, είναι υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία του νερού.

- ☉ Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας από τα ηλιακά περιβλήματα εκπέμπεται από τη θερμική ακτινοβολία, ζεσταίνοντας απευθείας τα φυτά που περιβάλλει και επιτρέποντας τη θερμοκρασία φύλλου να είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα (έτσι υπάρχει μικρότερη πιθανότητα συμπύκνωσης στα γύρω – γύρω φύλλα).
- ☉ Η απελευθέρωση θερμότητας κατά τη διάρκεια της νύχτας από το παθητικό ηλιακό περίβλημα στο θερμοκήπιο με μικρά φυτά είναι πολλή υψηλότερη από το θερμοκήπιο με ψηλά φυτά.
- ☉ Θεωρητικοί υπολογισμοί έδειξαν ότι η χρήση παθητικού ηλιακού περιβλήματος σ' ένα συμβατικό θερμαινόμενο θερμοκήπιο μπορεί να αποθηκεύσει πάνω από 8% της εισαγόμενης ενέργειας. Επίσης, το ηλιακό περίβλημα πρέπει να περιέχει όσο το δυνατό περισσότερο νερό για να παρέχει ενιαία απελευθέρωση ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Κεφάλαιο 3^ο. Υλικά & Μέθοδοι

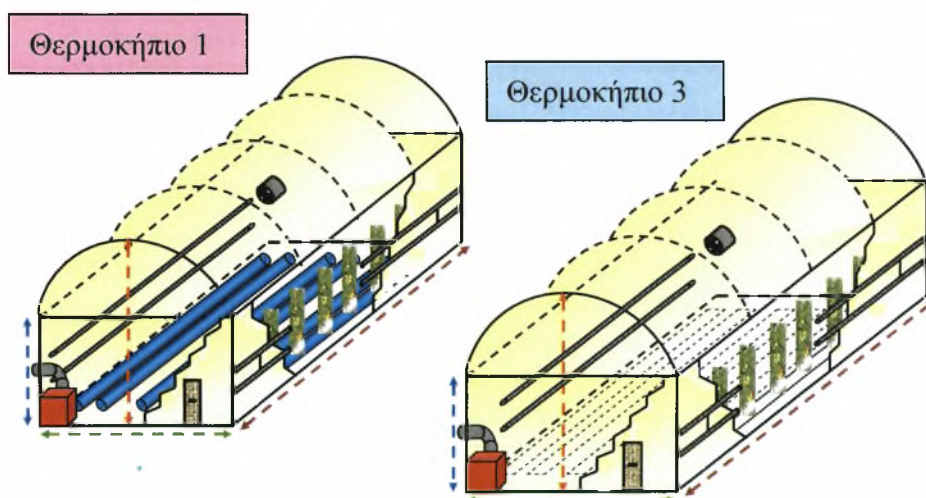


3.1. Το θερμοκήπιο

Τα πειράματα έγιναν στο αγρόκτημα του Βελεστίνου της εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από τον Βόλο. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, με μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά τον θερμότερο μήνα περίπου 37°C και από ήπιους χειμώνες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τον ψυχρότερο μήνα 4°C .

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα θερμοκήπια (1 και 3), τροποποιημένα τοξωτά, επιφάνειας 160 m^2 (20 μέτρα μήκος και 8 μέτρα πλάτος) το καθένα και μέγιστου ύψους 4,1m στον κορφιά, ενώ το ύψος του ορθοστάτη έφτανε τα 2,9m. Μεταξύ των δύο θερμοκηπίων η μόνη διαφορά ήταν ότι στο θερμοκήπιο 1 εγκαταστάθηκε επιπλέον ένα υβριδικό σύστημα για τη θέρμανσή του (Σχήμα 3.1.), ενώ το δεύτερο χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε και ένα τρίτο θερμοκήπιο ιδίου τύπου για το μέγλωμα φυτών που χρειαζόταν για τη συμπλήρωση των κενών που δημιουργήθηκαν κατά της καταστροφικές μετρήσεις προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η πυκνότητα ($2.4\text{ φυτά} / \text{m}^2$) στο εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό.



Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση των δύο θερμοκηπίων

3.2. Αερισμός

Στα θερμοκήπια υπήρχαν ανοίγματα πλαϊνά, κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών, διαστάσεων $0.9\text{m} \times 15\text{m}$ έκαστο. Τα πειραματικά θερμοκήπια είχε πλάτος 8 μέτρα, όπως προαναφέρθηκε. Επομένως, για τον φυσικό εξαερισμό των θερμοκηπίων τα πλαϊνά ανοίγματα, επαρκούσαν, με σχέση συνολικής επιφάνειας αερισμού προς την συνολική επιφάνεια των θερμοκηπίων ίση με 17%. Ο αερισμός ελέγχονταν με μικροελεγκτή του συστήματος ελέγχου του μικροκλίματος των θερμοκηπίων. Η βασική ενεργοποίηση των ανοιγμάτων αερισμού γίνονταν με βάση τη θερμοκρασία στο εσωτερικό των θερμοκηπίων. Δίνονταν στο μικροελεγκτή τα αποδεκτά όρια (23°C - 30°C) και εκείνος ρύθμιζε το άνοιγμα προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες. Έτσι για μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα 7°C ($=30 - 23^{\circ}\text{C}$) το άνοιγμα αερισμού έπαιρνε τη μέγιστη τιμή του, ενώ για μια διαφορά ίση με 3.5°C τα παράθυρα άνοιγαν σε ποσοστό 50% της συνολικής τους επιφάνειας. Πέρα από τη λειτουργία των ανοιγμάτων αερισμού και με βάση την επιθυμητή θερμοκρασία, τα παράθυρα αερισμού άνοιγαν, ανεξάρτητα από την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα, για λόγους αφύγρανσης των θερμοκηπίων. Αυτό μπορούσε να γίνει είτε δίνοντας στη μεταβλητή που έλεγχε το άνοιγμα των παραθύρων τη δυνατότητα να εξετάζει της τιμές άλλων παραμέτρων (π.χ σχετική υγρασία, έλλειμμα κορεσμού του αέρα κ.λπ.) για να ενεργοποιήσει τα ανοίγματα αερισμού, είτε σε καθορισμένες ώρες ανεξαρτήτως κλιματικών συνθηκών. Στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να οριστεί όχι μόνο το χρονικό διάστημα ανοίγματος των παραθύρων αλλά και το ποσοστό του ανοίγματος. Καθ'όλη τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου από της 9:00 π.μ. έως της 10:00 π.μ. το άνοιγμα των παραθύρων των θερμοκηπίων ορίστηκε στο 40%.



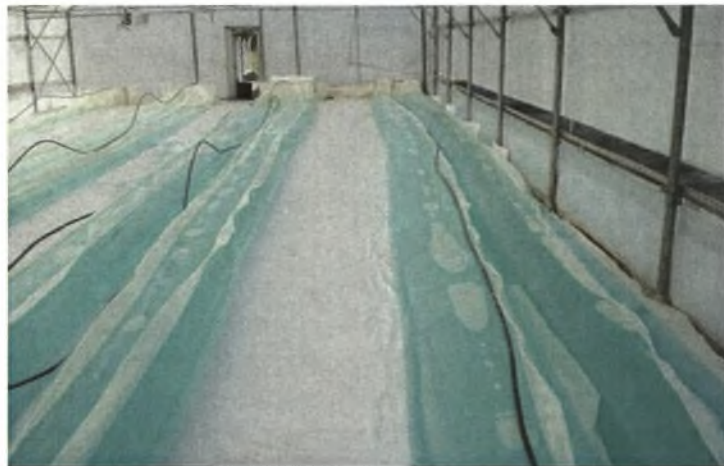
3.3.. Θέρμανση

Η θέρμανση και των δύο θερμοκηπίων γινόταν από ένα δίκτυο σωληνώσεων ζεστού νερού ενώ συμπληρωματικά υπήρχε και αξονικό αερόθερμο, τοποθετημένο σε απόσταση 2.5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Το δίκτυο των σωληνώσεων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούνταν από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Τόσο το αερόθερμο όσο και το σύστημα των επιδαπέδιων σωληνώσεων τροφοδοτούνταν με ζεστό νερό από τον ίδιο λεβητοκαυστήρα που ήταν τοποθετημένος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο λεβητοκαυστήρας, παραγωγής ζεστού νερού ήταν ισχύος 175 W και χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το πετρέλαιο.

Στο εσωτερικό του καυστήρα υπήρχε ένας κυκλοφορητής που έλεγχε τη ροή του ζεστού νερού στο σύστημα θέρμανσης. Στην αρχή του συστήματος των επιδαπέδιων σωληνώσεων υπήρχε και δεύτερος κυκλοφορητής ο οποίος επιτάχυνε τη ροή του ζεστού νερού στις επιδαπέδιες σωληνώσεις, έτσι ώστε από το σύστημα μέσω της αύξησης της παροχής να αυξηθεί η αποδιδόμενη ενέργεια στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι δύο κυκλοφορητές ήταν συνδεδεμένοι σε σειρά μεταξύ τους, ενώ υπήρχε και η δυνατότητα απενεργοποίησης του δεύτερου κυκλοφορητή μέσω ενός διακόπτη που παρεμβάλλονταν ανάμεσά τους.

Τόσο η λειτουργία των δύο κυκλοφορητών όσο και το αερόθερμο ελέγχονταν μέσω του κεντρικού ελεγκτή κλίματος με βάση ένα αισθητήριο θερμοκρασίας-υγρασίας το οποίο ήταν τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα ήταν 20 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Επιπλέον, στο θερμοκήπιο 1 όπου εγκαταστάθηκε το υβριδικό σύστημα θέρμανσης τοποθετήθηκαν, κάτω από κάθε σειρά της καλλιέργειας (συνολικά 8), πλαστικοί σωλήνες (Σχήμα 3.2), μήκους 17 m ο καθένας, γεμάτοι με νερό και κάποια ποσότητα χαλκού (27m^3) για την αποφυγή της τυχόν διάβρωσής του.



Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση του συστήματος των σωλήνων

Παράλληλα με την εγκατάσταση του συστήματος των σωλήνων έγινε και η εγκατάσταση των αυτοματισμών και ελέγχου του συστήματος δροσισμού (Σχήμα 3.3.) το οποίο εγκαταστάθηκε προκειμένου να γίνεται παροχή υγρού αέρα με χαμηλή θερμοκρασία στους διάτρητους σωλήνες του συστήματος, καθώς και η εγκατάσταση του συστήματος της υγρής παρειάς και του ανεμιστήρα.



Σχήμα 3.3. Σχηματική απεικόνιση του συστήματος των αεραγωγών, των αυτοματισμών των αεραγωγών και του συστήματος εισαγωγής του αέρα στο θερμοκήπιο

3.4. Καλλιέργεια

3.4.1. Υπόστρωμα

Για τη θρέψη των φυτών χρησιμοποιήθηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα έτσι ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος μολύνσεων από ασθένειες του εδάφους και να διασφαλιστεί η βέλτιστη θρέψη των φυτών. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν Πετροβάμβακας, σε σάκους μήκους 1 μέτρου. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 136 σάκοι σε κάθε θερμοκήπιο. Στο θερμοκήπιο 1 οι σάκοι αυτοί τοποθετήθηκαν πάνω σε διαφανείς πλαστικούς σωλήνες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως αποθήκη νερού για το παθητικό ηλιακό σύστημα ενώ στο θερμοκήπιο 3 (μάρτυρας) τοποθετήθηκαν σε πάγκους, ύψους 0,5m πάνω από το έδαφος. Οι πάγκοι είχαν κλίση 1-2% για την υποβοήθηση της στράγγισης.

3.4.2. Άρδευση- Λίπανση

Η δόση άρδευσης, ο χρόνος και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, ελέγχονταν αυτόματα με το πρόγραμμα MACQU (Management and Control for Quality in Greenhouse). Από την υδροπονική κεφαλή ξεκινούν οι κύριες γραμμές του συστήματος άρδευσης-λίπανσης, διαμέτρου 32 mm, οι οποίες στη συνέχεια διακλαδίζονται στα θερμοκήπια, αποτελώντας της δευτερεύουσες γραμμές του συστήματος, διαμέτρου 16 mm. Οι δευτερεύουσες γραμμές βρίσκονται κατά μήκος των φυτών και φέρουν τους σταλάκτες. Το υλικό των σωληνώσεων ήταν PVC. Για τις απαραίτητες διακλαδώσεις και συνδέσεις, υπήρχαν ειδικά εξαρτήματα κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό. Οι σταλάκτες ήταν τύπου στενής οπής και είχαν παροχή 1lt/h. Στην κεντρική εγκατάσταση άρδευσης, στην αρχή κάθε κύριας γραμμής υπήρχε ηλεκτροβάννα, η οποία τροφοδοτούνταν με τάση 24 V, εφοδιασμένη με ηθμό για τη συγκράτηση των ανεπιθύμητων υλικών και προστασία του συστήματος από αποφράξεις των σωληνώσεων. Η ηλεκτροβάννα ενεργοποιούνταν αυτόματα από το MACQU.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, ήταν $2,1 \text{ mScm}^{-1}$ και το pH ήταν 5,6 με μικρές τροποποιήσεις, ανάλογα με της συνθήκες και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Η τροφοδοσία νερού και λιπασμάτων πραγματοποιούνταν μέσω συστήματος στάγδην άρδευσης, το οποίο ελέγχονταν αυτόματα μέσω H/Y. Η άρδευση βασιζόταν στην ηλιακή ακτινοβολία και εκτελούνταν όταν το άθροισμα της εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας (R_{go}) έφθανε τα 600 KJ m^{-2} (συχνότητα άρδευσης). Το σύνολο του νερού που εφαρμοζόταν ήταν 0.3 mm. Ο ρυθμός απορρόφησης dr διατηρούνταν κοντά στο 35%. Το σύνολο του νερού που εφαρμοζόταν E (kg m^{-2}) υπολογίζονταν με τη χρήση της σχέσης:

$$E = \frac{TR}{(1 - dr)} \quad (3.1)$$

όπου Tr είναι η διαπνοή της καλλιέργειας (kg m^{-2}) η οποία εκτιμήθηκε από τη σχέση:

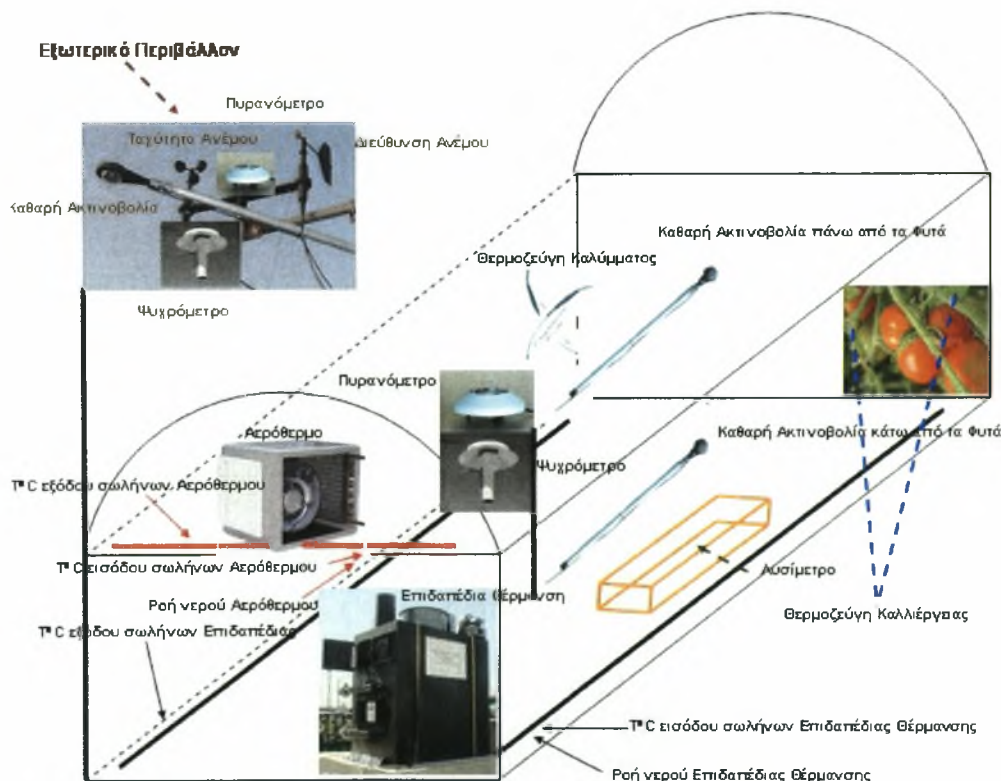
$$Tr = A * RGo \quad (3.2)$$

όπου RGo είναι η ηλιακή ακτινοβολία έξω από το θερμοκήπιο (Kj m^{-2}) και $A = Kc * της * a / \lambda$, Kc είναι ο καλλιεργητικός συντελεστής, $της$ είναι η διαπερατότητα του θερμοκηπίου στην RGo , a είναι ο συντελεστής εξάτμισης και λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (Kj kg^{-1}).

3.4.3. Εγκατάσταση της καλλιέργειας και καλλιεργητικές επεμβάσεις

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten ποικιλίας *Belladonna*, η οποία είναι ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη, με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής στον καρπό. Η μεταφύτευση των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 8 Οκτωβρίου 2007, στο στάδιο των πέντε πραγματικών φύλλων (μόλις που διακρίνονταν η 1^η ταξιανθία). Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ήταν περίπου 140 ημέρες από τη μεταφύτευση μέχρι 25^η Φεβρουαρίου 2008.

Η καλλιέργεια ήταν εγκαταστημένη σε τέσσερις διπλές σειρές σε κάθε θερμοκήπιο, με αποστάσεις φύτευσης επί της γραμμής 0,37 m, ενώ η απόσταση μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς ήταν 0,75 m. Άμεση συνέπεια η πυκνότητα φύτευσης να είναι ίση με 2,4 φυτά/ m^2 . Ανάμεσα της διπλές γραμμές υπήρχε διάδρομος πλάτους 1m.



Σχήμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση των αισθητήρων καταγραφής του κλίματος

Η ανάπτυξη της καλλιέργειας έγινε με τις συνηθισμένες καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζουν οι παραγωγοί στα εμπορικά θερμοκήπια, δηλαδή της κύριας βλάστησης και 5 καρποί σε κάθε ταξικαρπία. Τα φυτά υποστηρίχθηκαν με πλαστικό σπάγκο, ο οποίος ήταν δεμένος στα οριζόντια σύρματα του θερμοκηπίου με ειδικό εξάρτημα. Οι πλάγιοι βλαστοί αφαιρούνταν χειρωνακτικά σε τακτά χρονικά διαστήματα (μία φορά την εβδομάδα). Μετά τη συγκομιδή των καρπών κάθε ταξικαρπίας αφαιρούνταν τα υποκείμενα φύλλα, για τη μείωση της σχετικής υγρασίας στα κατώτερα μέρη του φυτού (αερισμός) και για την αύξηση της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τη συμβολή στην ταχύτερη ωρίμανση των καρπών. Οι κορυφές των φυτών αποκόπτονταν πριν την όγδοη ταξικαρπία. Στο θερμοκήπιο γινόταν συστηματικός έλεγχος των εντόμων και των ασθενειών. Τοποθετήθηκαν μπλε και κίτρινες παγίδες για τον έλεγχο του θρίπα και του αλευρώδη αντίστοιχα.

3.5. Κλιματικές Μετρήσεις

3.5.1. Μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον

Στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονταν:

- ✚ Η θερμοκρασία ($T_o, ^\circ\text{C}$) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Do, kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman (τύπος VPI, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Το ψυχρόμετρο μετρούσε της θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου από τις οποίες υπολογίζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα.
- ✚ Η ηλιακή ακτινοβολία ($RG_o, \text{W m}^{-2}$) με πυρανόμετρο (CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands).
- ✚ Η ταχύτητα του αέρα ($u, \text{m s}^{-1}$) με ανεμόμετρο κυπέλλων (τύπος AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- ✚ Η διεύθυνση του αέρα (WD°) με ανεμοδείκτη (τύπος WD1-UM3-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- ✚ Η καθαρή ακτινοβολία ($R_{n,o}, \text{W m}^{-2}$) εξωτερικά του θερμοκηπίου με ραδιόμετρα (τύπος Q-7, REBS, Seattle, Washington).

3.5.2. Μετρήσεις στο εσωτερικό περιβάλλον

Στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονταν:

- ✚ Η θερμοκρασία ($T_o, ^\circ\text{C}$) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Do, kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman (τύπος VPI, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- ✚ Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ($RG_o, \text{W m}^{-2}$) στο κέντρο του θερμοκηπίου, με πυρανόμετρο (CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands).
- ✚ Η καθαρή ακτινοβολία πάνω ($R_{n,a}, \text{W m}^{-2}$) και κάτω ($R_{n,b}, \text{W m}^{-2}$) από την καλλιέργεια με ραδιόμετρα (τύπος Q-7, REBS, Seattle, Washington). Από τη διαφορά των δύο ραδιομέτρων, πάνω και κάτω από την καλλιέργεια ($R_{n,a} - R_{n,b}$) υπολογίζεται η απορροφόμενη καθαρή ενέργεια από την καλλιέργεια $R_{n,int} (\text{W m}^{-2})$.
- ✚ Η θερμοκρασία (10) φύλλων ($T_l, ^\circ\text{C}$) με θερμοζεύγη χαλκού – κωνσταντάνης

✚ (τύπος Tης, Omega, UK), διαμέτρου 0.1mm, τα οποία προσαρμόζονταν στην κεντρική νεύρωση των φύλλων σε φυτά στο κέντρο του θερμοκηπίου. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας της καλλιέργειας (T_l , °C) υπολογίζονταν από της μέσες τιμές της θερμοκρασίας των φύλλων.

✚ Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος οροφής (T_l , °C) με θερμοζεύγη χαλκού – κωνσταντάνης (τύπος Tης, Omega, UK), διαμέτρου 0.5mm. Η θερμοκρασία του καλύμματος καταγράφονταν σε δύο σημεία στο κέντρο του θερμοκηπίου από τα οποία εξάγονταν ο μέσος όρος.

✚ Η διαπνοή της καλλιέργειας με διάταξη λυσιμέτρου, τοποθετημένου στο κέντρο του θερμοκηπίου. Η συσκευή αποτελείται από μια ηλεκτρονική ζυγαριά, με δίσκο που περιλαμβάνει 3 φυτά. Παράλληλα υπάρχει ανεξάρτητο σύστημα τροφοδοσίας και στράγγισης του θρεπτικού διαλύματος. Έτσι, καθώς η εξάτμιση από το υπόστρωμα είναι μηδενική, η απώλεια βάρους που καταγράφεται στη ζυγαριά ισοδυναμεί με τη διαπνοή των φυτών.

✚ Η παροχή ενέργειας από τα αερόθερμα και από της επιδαπέδιους σωλήνες. Για κάθε ένα από τα δύο συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστή διάταξη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της παρεχόμενης ενέργειας από τα δύο συστήματα, η οποία περιελάμβανε: ένα ροόμετρο (WZE, απλής ριπής τύπου περωτής), τοποθετημένο στην είσοδο του ζεστού νερού σε ηλεκτρονικούς παλμούς και ένα ζεύγος αισθητήρων (Thermistor 5 K Ω) και στην έξοδο του νερού επιστροφής. Η παροχή ενέργειας E_{th} σε W από κάθε σύστημα χωριστά υπολογίζονταν σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_{th} = [pq_w Q_w (T_{in} - T_{out})] \Delta t \quad (4.3)$$

όπου q_w είναι η ειδική θερμότητα του νερού σε J kg⁻¹ °C⁻¹, Q_w είναι η παροχή του νερού σε m³s⁻¹, T_{in} και T_{out} είναι οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού σε °C και Δt είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο το νερό κυκλοφορεί στο σύστημα σε s.



Σχήμα 3.5. Σχηματική απεικόνιση τμήματος των μετρητικών συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στον αεραγωγό, της θερμοκρασίας του νερού στους αγωγούς και της θερμοκρασίας των φύλλων της καλλιέργειας.

Για την συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK).

Οι μετρήσεις που αφορούσαν στην ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς και στη θερμοκρασία των φύλλων της καλλιέργειας λαμβάνονταν κάθε 10 δευτερόλεπτα (10s) και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά (10m). Όλες οι υπόλοιπες μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα (30s) και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά (10m).

3.6. Βιολογικές Μετρήσεις

3.6.1. Καταστροφικές μετρήσεις καρπών

Οι τιμές του χλωρού και ξηρού βάρους των καρπών καταγράφονταν με συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα καθόλη την περίοδο ωρίμανσης των καρπών. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε από 40 πειραματικά φυτά (Σχήμα 3.7.), ενώ το ξηρό βάρος υπολογίζονταν με ξήρανση σε κλίβανο για 48ώρες σε 75 °C (ASAE STANDARDS, 1998). Η ζύγιση γίνονταν με ζυγό ακριβείας εκατοστού του γραμμαρίου. Μετρήθηκαν:

- ✚ Αριθμός των καρπών
- ✚ Χλωρό Βάρος των καρπών
- ✚ Χλωρό Βάρος των καρπών ανά ταξικαρπία
- ✚ Ξηρό Βάρος των καρπών
- ✚ Ξηρό Βάρος των καρπών ανά ταξικαρπία



Σχήμα 3.6. Σχηματική απεικόνιση συγκομιδής ώριμων καρπών

3.6.2. Καταστροφικές μετρήσεις ολόκληρου του φυτού

Καθόλη την πειραματική περίοδο πραγματοποιήθηκαν 9 καταστροφικές μετρήσεις ολόκληρου του φυτού. Οι καταστροφικές μετρήσεις πραγματοποιούνταν κάθε 2 εβδομάδες σε φυτά (Σχήμα 3.8.) διαφορετικά σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο και την τυχαιοποίηση τους, ενώ τα κενά τους συμπληρώνονταν με επιπρόσθετα φυτά που βρίσκονταν στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης.

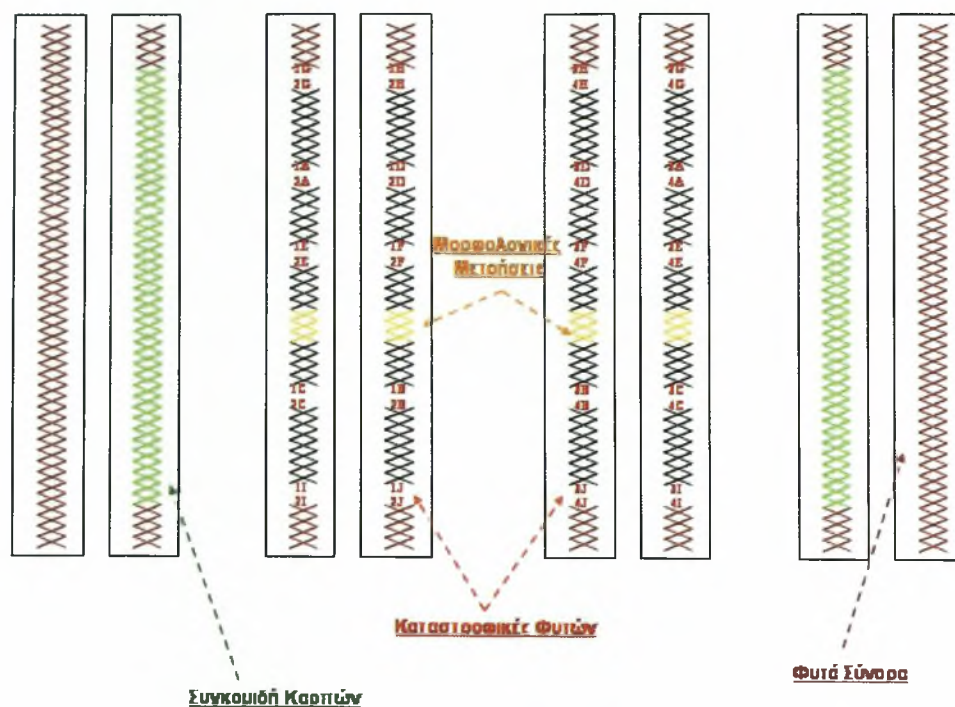
Για κάθε μέτρηση καταστρέφονταν 4 φυτά, και διαχωρίζονταν σύμφωνα με τα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά σε βλαστούς, άνθη, φύλλα και καρπούς. Η κοπή των φυτών πραγματοποιούνταν νωρίς το πρωί ώστε να αποφευχθεί η απώλεια νερού των φυτών λόγω διαπνοής και πριν την πρώτη άρδευση για να μην έχει γίνει πρόσληψη επιπλέον νερού.

Μετρήθηκαν το χλωρό βάρος των ιστών και το ξηρό βάρος με εισαγωγή τους σε φούρνο, στους 105°C για 24 ώρες (ASAE STANDARDS, 1998), εκτός από τους καρπούς, στους οποίους η θερμοκρασία κατά την ξήρανση (για τη μέτρηση της ξηρής ουσίας) δεν πρέπει να ξεπερνά τους 75°C . Τέλος έγινε αριθμητική καταμέτρηση όλων των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών. Η ζύγιση γίνονταν με ζυγό ακριβείας εκατοστού του γραμμαρίου. Μετρήθηκαν:

- ✂ Χλωρό Βάρος των φύλλων (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος)
- ✂ Χλωρό Βάρος των βλαστών
- ✂ Χλωρό Βάρος των ταξιανθιών (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος του άνθους)
- ✂ Χλωρό Βάρος των καρπών
- ✂ Ξηρό Βάρος των φύλλων (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος)
- ✂ Ξηρό Βάρος των βλαστών
- ✂ Ξηρό Βάρος των ταξιανθιών (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος του άνθους)
- ✂ Ξηρό Βάρος των καρπών
- ✂ Αριθμός των φύλλων ($>0.5\text{cm}$)
- ✂ Αριθμός των ανθέων ($>0.5\text{cm}$)
- ✂ Αριθμός των καρπών
- ✂ Αριθμός των κόμβων
- ✂ Αριθμός των συμποδίων
- ✂ Αριθμός των καρπών ανά ταξικαρπία
- ✂ Αριθμός των φύλλων ($>0.5\text{cm}$) ανά συμπόδιο
- ✂ Αριθμός των ανθέων ($>0.5\text{cm}$) ανά συμπόδιο
- ✂ Αριθμός των καρπών ($>0.5\text{cm}$) ανά συμπόδιο



Σχήμα3.7. Σχηματική απεικόνιση απομάκρυνσης φυτών για καταστροφική μέτρηση



Σχήμα 3.8. Πειραματικό σχέδιο

3.6.3. Απομάκρυνση των φύλλων

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου γίνονταν συστηματική αφαίρεση φύλλων με άμεση συνέπεια τη μείωση του αριθμού και της συνολικής φυλλικής επιφάνειας. Μετρήθηκαν:

- ✚ Χλωρό Βάρος των αφαιρούμενων φύλλων (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος)
- ✚ Ξηρό Βάρος των αφαιρούμενων φύλλων (συμπεριλαμβάνεται ο μίσχος)



Σχήμα 3.9. Σχηματική απεικόνιση κατά τη διενέργεια απομάκρυνσης φύλλων

3.7. Μετρήσεις Ανάπτυξης των Μορφολογικών χαρακτηριστικών

3.7.1. Ολόκληρου του φυτού

Για τη μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών επιλέχθηκαν 8 φυτά εκατέρωθεν του κέντρου του θερμοκηπίου, στις δύο μεσαίες διπλές σειρές. Στα φυτά αυτά έγινε ειδική σήμανση για την αναγνώριση του κάθε επιλεγμένου φυτού. Σε όλες τις μετρήσεις δίνονταν ιδιαίτερη προσοχή στην όσο το δυνατό μικρότερη επαφή με την κόμη, γιατί επηρεάζεται η ανάπτυξή της. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια εύκαμπτης πλαστικής μετροταινίας με ακρίβεια της μέτρησης 0,5 cm.

Ως ύψος του φυτού είχε οριστεί το μήκος του κεντρικού βλαστού από το λαιμό του φυτού μέχρι το σημείο εμφάνισης του φύλλου στην κορυφή με μήκος μικρότερο από 10 cm.

Οι μετρήσεις ανάπτυξης των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών πραγματοποιούνταν με συχνότητα 3 φορές για κάθε εβδομάδα καθόλη την πειραματική περίοδο. Μετρήθηκαν:

- ✚ Μήκος του φυτού
- ✚ Συνολικός αριθμός φύλλων
- ✚ Αριθμός των νεκρών και αφαιρούμενων φύλλων
- ✚ Αριθμός των κόμβων
- ✚ Συνολικός αριθμός των ταξιανθιών
- ✚ Αριθμός των ανθέων ανά ταξιανθία
- ✚ Αριθμός των καρπών ανά ταξιανθία



Σχήμα 3.10. Σχηματική απεικόνιση κατά τη διενέργεια μετρήσεων ανάπτυξης της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο.

3.7.2. Φύλλων

Η μέτρηση των φύλλων επίσης με τη μετροταινία που περιγράφηκε νωρίτερα και γίνονταν ανά δεκαπέντε ημέρες. Ως μήκος (L) του φύλλου είχε οριστεί η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος και ως πλάτος (W) του φύλλου η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις άκρες του ελάσματος, η κάθετη στο μήκος του φύλλου. Μετρούνταν όλα τα φύλλα κάθε φυτού του δείγματος.

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκαν κάποια τυχαία επιλεγμένα φύλλα. Σε αυτά τα φύλλα μετρήθηκε το μήκος, το πλάτος καθώς και το χλωρό και το ξηρό βάρος τους και συσχετίστηκε με το εμβαδόν που καταγράφηκε με τη χρήση scanner και ειδικού προγράμματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ο ρυθμός εμφάνισης των φύλλων και η φυλλική επιφάνεια της καλλιέργειας θα υπολογιστούν με μετρήσεις κάθε 2 ή 3 ημέρες από 8 επιλεγμένα φυτά. Μετρήθηκαν:

- ✚ Αριθμός των φύλλων
- ✚ Μήκος των φύλλων
- ✚ Πλάτος των φύλλων
- ✚ Φυλλική επιφάνεια

Οι μετρήσεις βάρους πραγματοποιήθηκαν με ηλεκτρονικό ζυγό, (Model Presica 60000 G SCS), διακριτικότητας 5000g. Η συνολική ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξεως του $\pm 0,01g$.

3.8. Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με τη χρήση του προγράμματος SPSS 11.0. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο ανάλυσης παραλλακτικότητας (One Way ANOVA). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεταχειρίσεων καθορίστηκαν με το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$.

Κεφάλαιο 4^ο. Αποτελέσματα

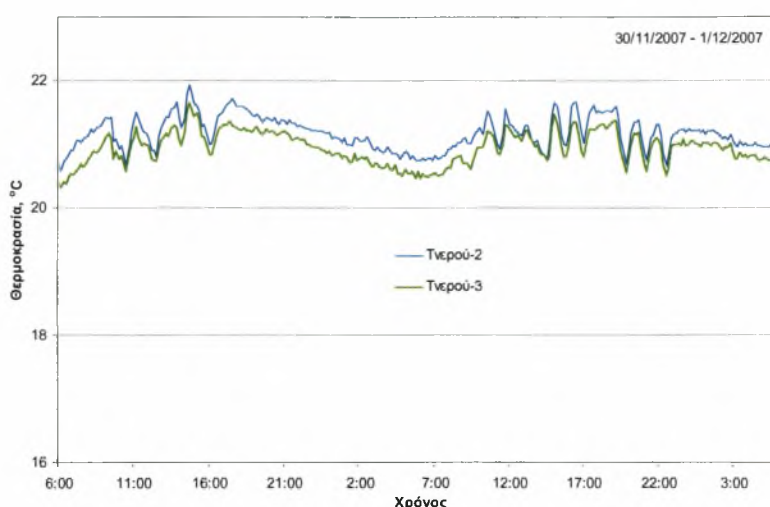


4.1. Μελέτη κλιματικών δεδομένων

4.1.1. Μετρήσεις θερμοκρασίας νερού σωλήνων παθητικού ηλιακού συστήματος

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων του παθητικού ηλιακού συστήματος κατά τη διάρκεια διαφόρων ημερών κατά τη χειμερινή περίοδο των μετρήσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεταφύτευση της καλλιέργειας έγινε στις αρχές Οκτωβρίου και ότι, από το τέλος Νοεμβρίου και μετά, η καλλιέργεια τομάτας είχε μέσο ύψος μεγαλύτερο από 0.5 m. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στη σκίαση των σωλήνων και σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας στη μειωμένη αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

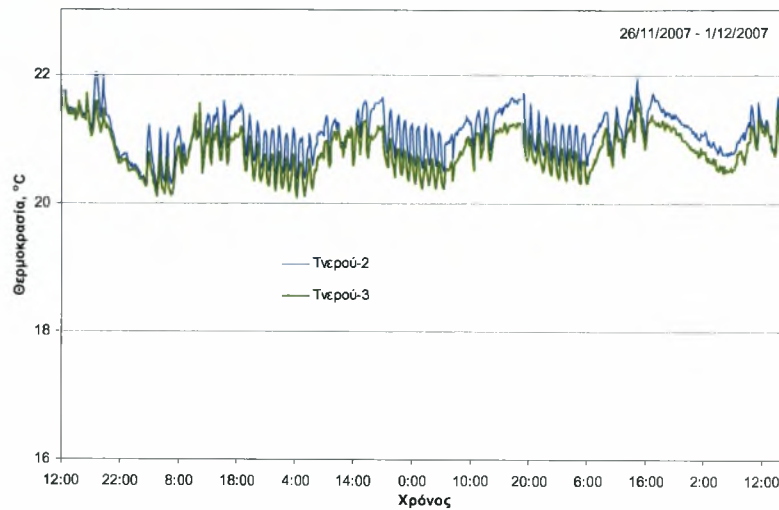
Στα σχήματα 4.1.1, 4.1.2 και 4.1.3 φαίνεται ότι η θερμοκρασία του νερού των σωλήνων του παθητικού ηλιακού συστήματος μεταβάλλονταν κατά 1.5°C περίπου μεταξύ ημέρας και νύχτας.



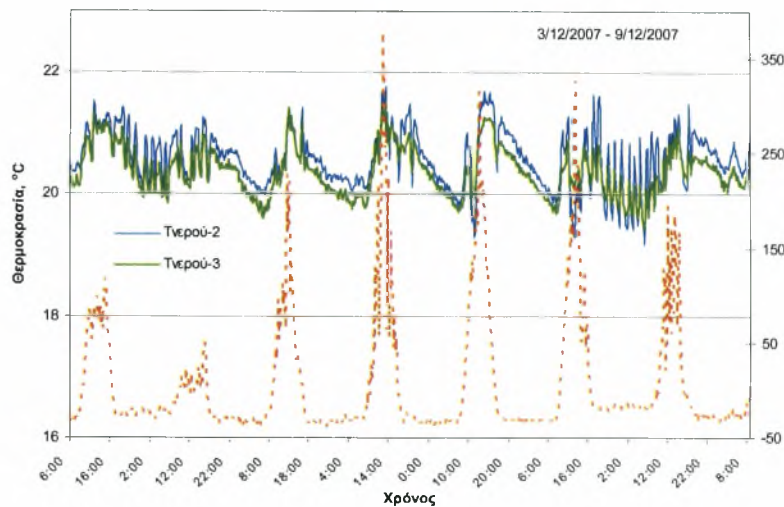
Σχήμα 4.1.1. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό των σωλήνων κατά τη διάρκεια δύο εικοσιτετράωρων κατά τη χειμερινή περίοδο.

Παράλληλα, από το Σχήμα 4.1.3, όπου παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του νερού των σωλήνων και της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από τους σωλήνες, φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η τιμή της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από τους σωλήνες, τόσο μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασίας του νερού μεταξύ ημέρας και νύχτας και συνεπώς, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που αποθηκεύονταν στο παθητικό ηλιακό σύστημα. Λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο του νερού και μία μέση διαφορά θερμοκρασίας νερού ημέρας-νύχτας 1.3°C, υπολογίστηκε ότι η ενέργεια που αποθηκευόταν στο σύστημα παθητικής ηλιακής θέρμανσης ήταν περίπου 45 MJ.

Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα θέρμανσης θα έπρεπε να λειτουργήσει για 6 ώρες ανά 24ωρο προκειμένου να διατηρήσει μία διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού εξωτερικού αέρα περίπου 10°C, τότε, η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση θα ήταν περίπου 560 MJ. Συνεπώς, η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση του παθητικού ηλιακού συστήματος ανέρχεται περίπου στο 10%.



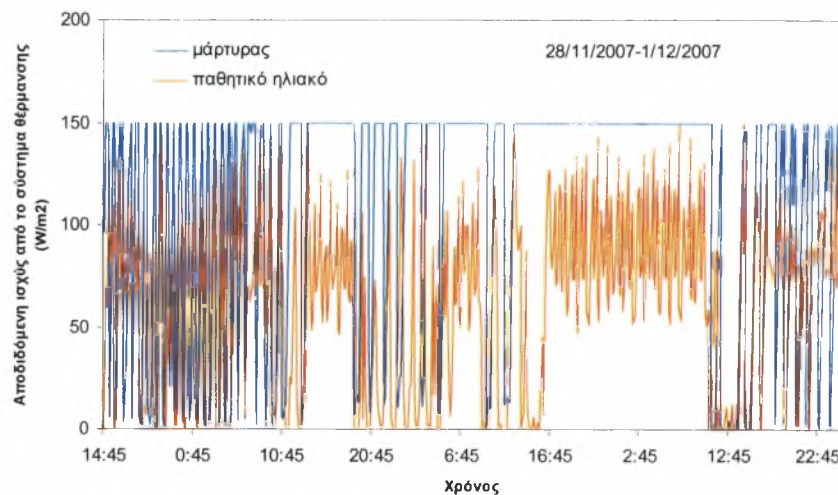
Σχήμα 4.1.2. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό των σωλήνων από 26/11 έως 01/12/2007.



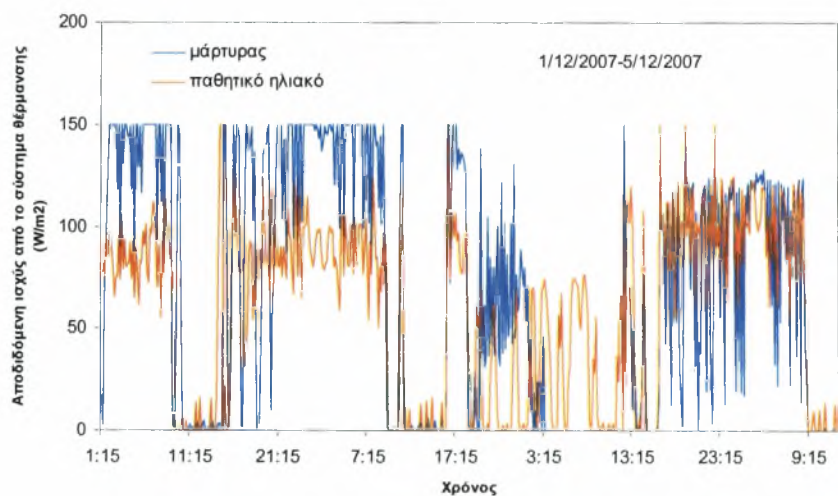
Σχήμα 4.1.3. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό των σωλήνων και της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πάνω από την επιφάνεια των σωλήνων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Οι παραπάνω υπολογισμοί συμφωνούν με τις μετρήσεις της απαραίτητης ενέργειας που αποδιδόταν από το σύστημα επιδαπέδιας θέρμανσης του θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνταν προκειμένου να επιτευχθεί στα δύο θερμοκήπια θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας περίπου 16°C.

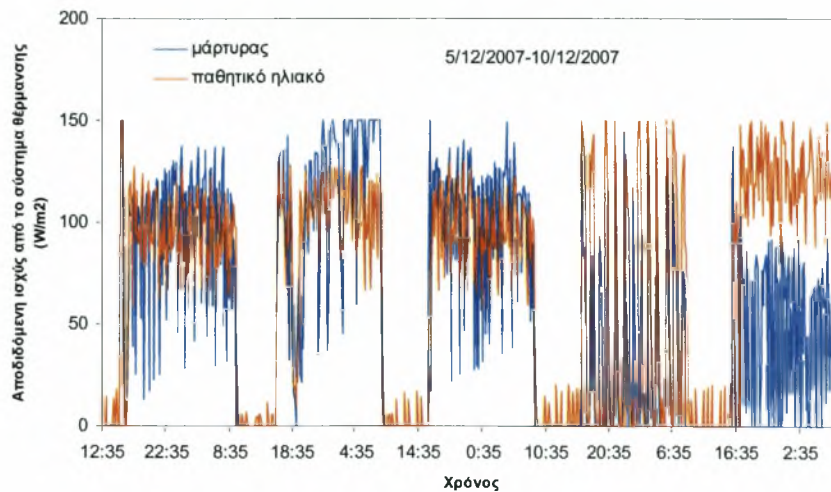
Στα σχήματα 4.1.4, 4.1.5 και 4.1.6 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια διαφόρων ημερών της χειμερινής περιόδου των μετρήσεων. Φαίνεται ότι η απαραίτητη ισχύς προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη στην περίπτωση του θερμοκηπίου με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης. Η μέση τιμή της εξοικονόμησης ενέργειας που υπολογίστηκε με αυτόν τον τρόπο ήταν περίπου 15%.



Σχήμα 4.1.4. Πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου των μετρήσεων.



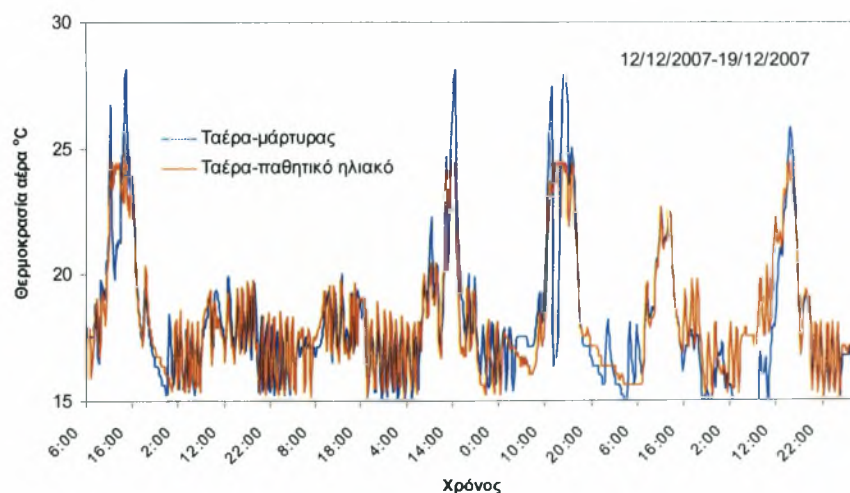
Σχήμα 4.1.5. Πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου των μετρήσεων.



Σχήμα 4.1.6. Πορεία των τιμών της αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα θέρμανσης για τη θέρμανση των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου των μετρήσεων.

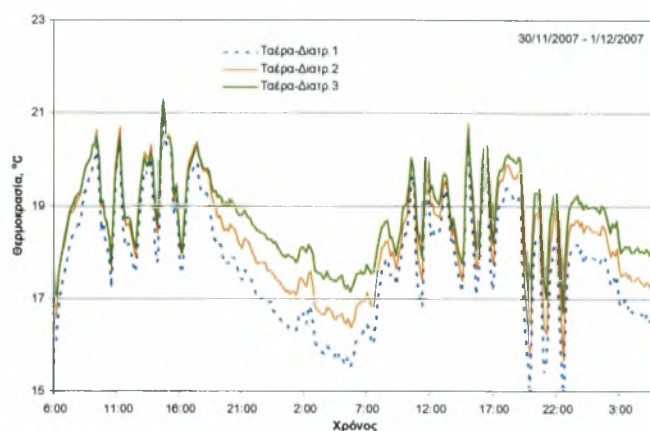
4.1.2. Μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα θερμοκηπίου και διάτρητου σωλήνα

Στο σχήμα 4.1.7 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια ημερών της χειμερινής περιόδου. Φαίνεται ότι η θερμοκρασία του αέρα ήταν παρόμοια στα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων. Θα πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του αέρα στα δύο θερμοκήπια ελέγχονταν από κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να διατηρείται θερμοκρασία 16°C περίπου κατά τη διάρκεια της νύχτας, με χρήση του συστήματος επιδαπέδιας θέρμανσης και των αεροθέρμων των θερμοκηπίων. Παρόλα αυτά, όπως παρουσιάστηκε και παραπάνω, το θερμοκήπιο με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης απαιτούσε λιγότερη ισχύ προκειμένου να επιτευχθούν σε αυτό παρόμοιες τιμές θερμοκρασίας με το θερμοκήπιο μάρτυρα.

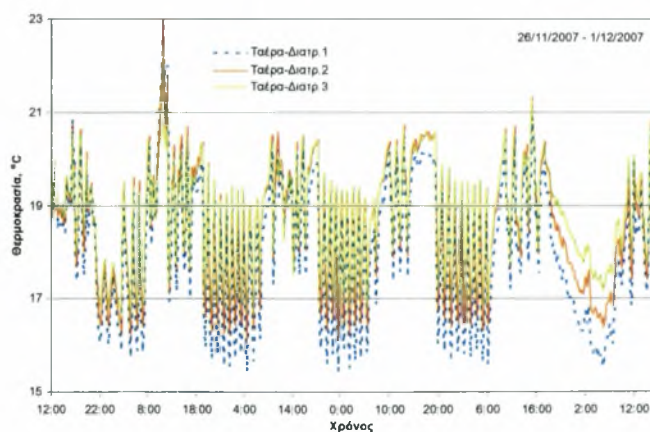


Σχήμα 4.1.7 Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

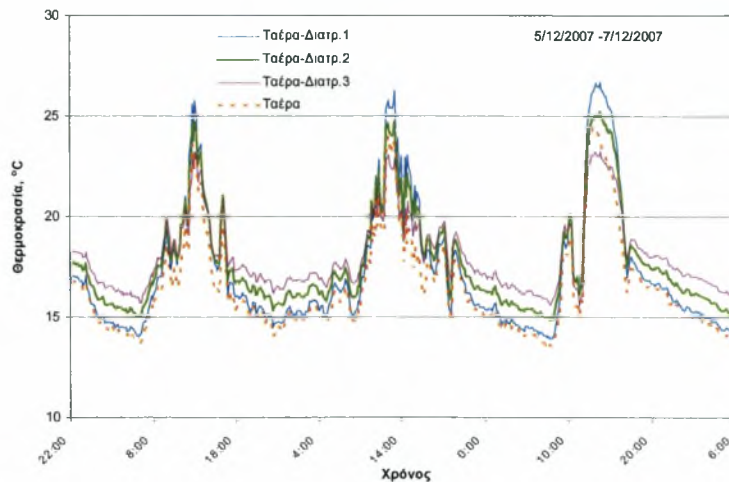
Η πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα (3 m, 8.5 m και 14 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα) κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου παρουσιάζεται στα σχήματα 4.1.8, 4.1.9, 4.1.10 και 4.1.11. Φαίνεται ότι, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αέρας θερμαίνεται κατά την κίνησή του μέσα στον διάτρητο σωλήνα, πιθανόν λόγω της άμεσης επαφής του αεραγωγού με τον σωλήνα αποθήκευσης του νερού του παθητικού ηλιακού συστήματος, και έτσι ο αέρας εξέρχεται του αεραγωγού στο αντίθετο άκρο κατά μέσο όρο κατά 1°C θερμότερος. Παράλληλα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.10 και στο σχήμα 4.1.11, η μέση θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη αυτής του αέρα των αεραγωγών και συνεπώς, το μικροπεριβάλλον που δημιουργούνταν κοντά στην κόμη των φυτών, λόγω του αέρα των αεραγωγών, ήταν θερμότερο από το περιβάλλον του θερμοκηπίου.



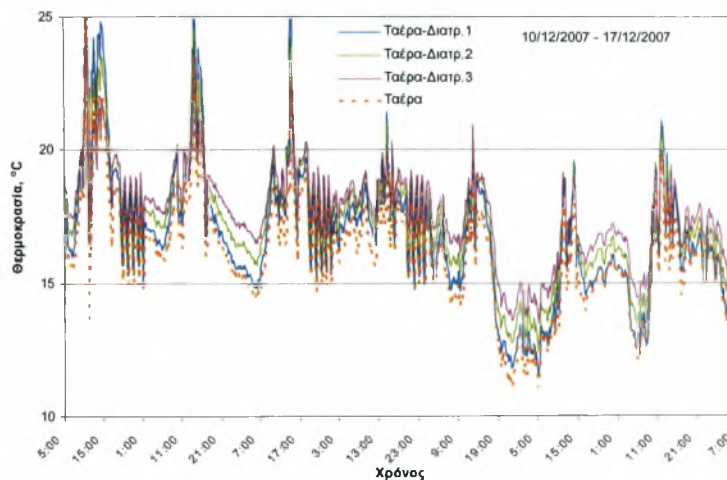
Σχήμα 4.1.8. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα κατά τη διάρκεια δύο εικοσιτετραώρων κατά τη χειμερινή περίοδο. Ταέρα-Διατρ. 1: θερμοκρασία αέρα 3 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταέρα-Διατρ. 2: θερμοκρασία αέρα 8,5 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταέρα-Διατρ. 3: θερμοκρασία αέρα 14 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα.



Σχήμα 4.1.9. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα κατά τη χειμερινή περίοδο. Ταέρα-Διατρ. 1: θερμοκρασία αέρα 3 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταέρα-Διατρ. 2: θερμοκρασία αέρα 8,5 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταέρα-Διατρ. 3: θερμοκρασία αέρα 14 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα

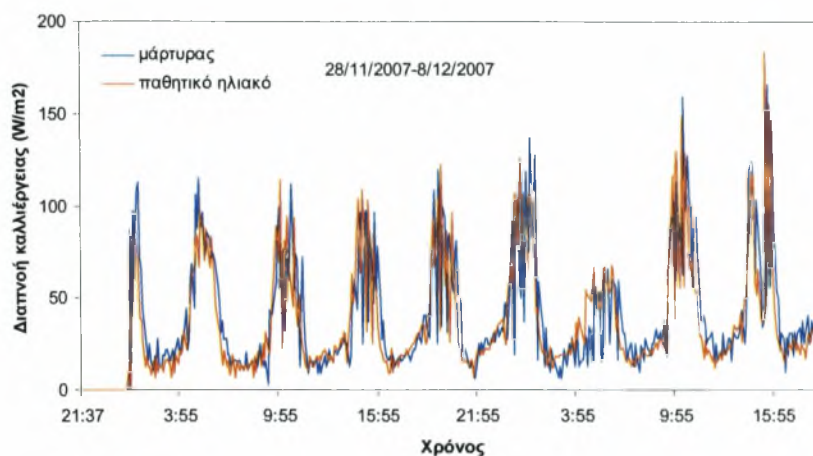


Σχήμα 4.1.10. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα κατά τη χειμερινή περίοδο. Ταίρα: θερμοκρασίας του αέρα στο μέσο του θερμοκηπίου, Ταίρα-Διατρ. 1: θερμοκρασία αέρα 3 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταίρα-Διατρ. 2: θερμοκρασία αέρα 8,5 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταίρα-Διατρ. 3: θερμοκρασία αέρα 14 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα.

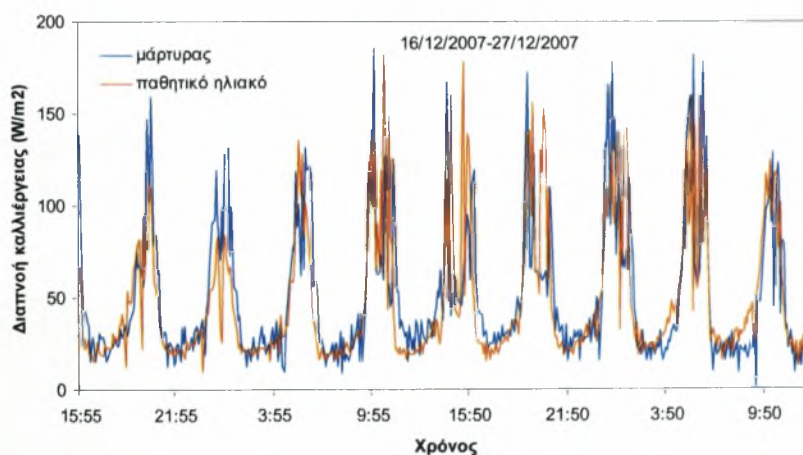


Σχήμα 4.1.11. Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του διάτρητου σωλήνα κατά τη χειμερινή περίοδο. Ταίρα: θερμοκρασίας του αέρα στο μέσο του θερμοκηπίου, Ταίρα-Διατρ. 1: θερμοκρασία αέρα 3 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταίρα-Διατρ. 2: θερμοκρασία αέρα 8,5 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα, Ταίρα-Διατρ. 3: θερμοκρασία αέρα 14 m μετά την είσοδο του αέρα στο διάτρητο σωλήνα.

Από το σχήμα 4.1.12 και το σχήμα 4.1.13 όπου παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της διαπνοής των φυτών κατά τη χειμερινή περίοδο, φαίνεται ότι δεν υπήρχαν διαφορές στις τιμές του ρυθμού διαπνοής των φυτών στα δύο θερμοκήπια. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το σύστημα των διάτρητων σωλήνων δεν επηρέασε σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια δεν επηρέασε σημαντικά την αεροδυναμική αγωγιμότητα και τη διαπνοή της καλλιέργειας.



Σχήμα 4.1.12 Πορεία των τιμών της διαπνοής της καλλιέργειας τομάτας στα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.



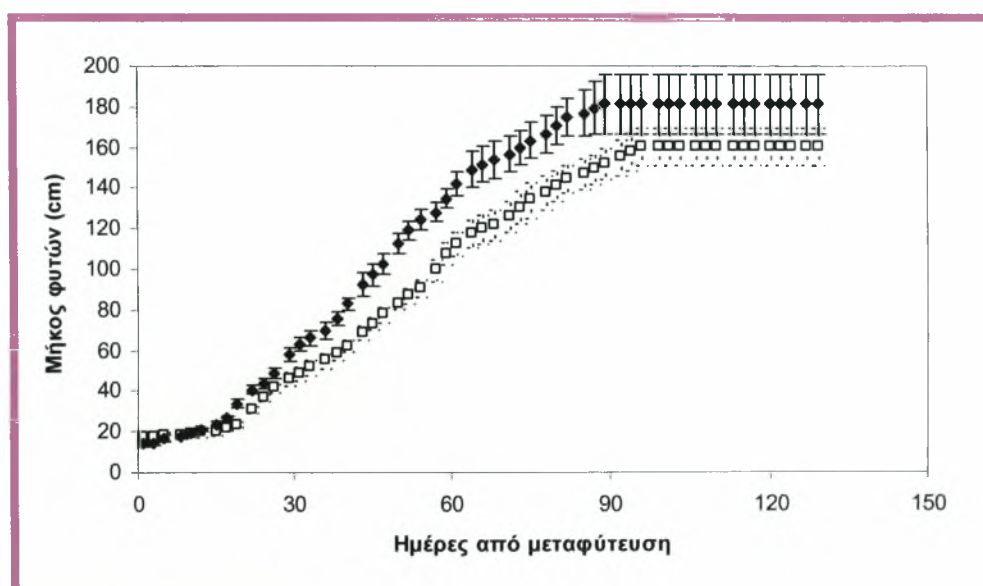
Σχήμα 4.1.13. Πορεία των τιμών της διαπνοής της καλλιέργειας τομάτας στα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

4.2. Ανάπτυξη φυτών τομάτας

4.2.1. Μήκος φυτών τομάτας

Η εξέλιξη του μήκους των φυτών τομάτας, στο σχήμα 4.2.1, αποδεικνύει ότι δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, μεταξύ των δυο θερμοκηπίων μόνο κατά την περίοδο από την 3^η έως την 6^η μέτρηση δηλαδή κατά την διάρκεια των πρώτων ημερών. Στην υπόλοιπη διάρκεια του πειράματος τα φυτά του μάρτυρα με επιδαπέδια θέρμανση (θερμοκήπιο 3) υπερισχύουν έναντι των φυτών του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (θερμοκήπιο 1). Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο μικρότερο μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων, καθώς ο αριθμός των κόμβων των φυτών (σχήμα 4.2.6) ήταν παρόμοιος και στις δύο περιπτώσεις είτε στην καθυστέρηση της εγκατάστασης του συστήματος θέρμανσης και στην καταπόνηση των φυτών κατά τη διάρκεια τοποθέτησής του.

Επίσης, παρατηρείται ότι από την 42^η μέτρηση και μετά τα φυτά δεν παρουσιάζουν πλέον καμιά ανάπτυξη όσον αφορά το μήκος τους. Αυτό οφείλεται στο κορυφολόγημα που έγινε στις 11/01/2008, όταν στα φυτά είχε εμφανιστεί και η 7^η ταξιανθία.



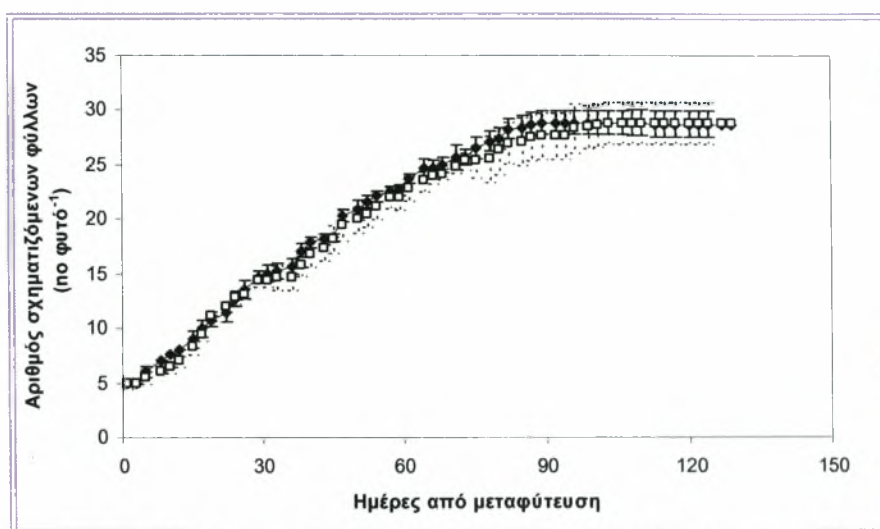
Σχήμα 4.2.1. Εξέλιξη του μήκους (cm) των φυτών κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.2.2. Αριθμός σχηματιζόμενων, αφαιρούμενων και πραγματικών φύλλων

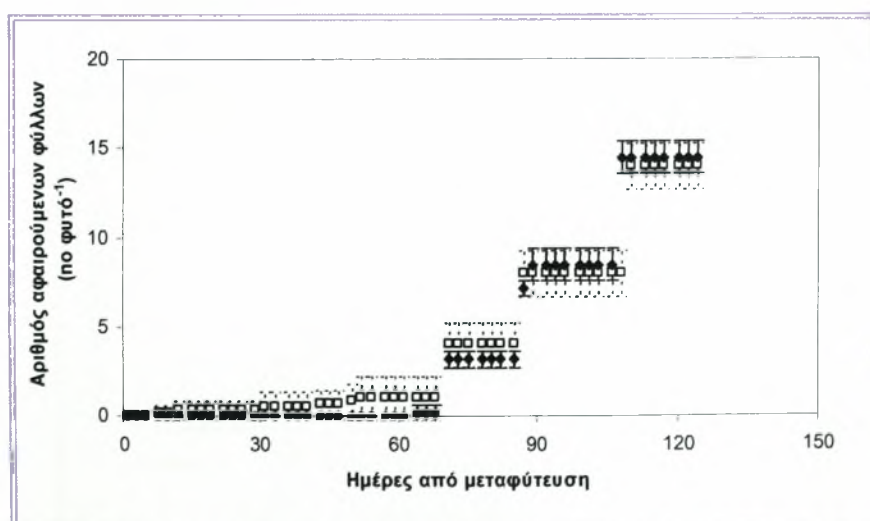
Η εξέλιξη της εμφάνισης του αριθμού των φύλλων των φυτών τομάτας που παρουσιάζεται στα σχήματα 4.2.2, 4.2.3 και 4.2.4 αποδεικνύει ότι δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών καθώς και από την 39^η μέτρηση έως το τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Στην υπόλοιπη διάρκεια του πειράματος τα φυτά του μάρτυρα (θερμοκήπιο 3) υπερισχύουν έναντι των φυτών του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (θερμοκήπιο 1).

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μικρότερο μέγεθος των φυτών στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (σχήμα 4.2.1) δεν περιορίσε τον αριθμό των πραγματικών φύλλων δηλαδή, των φωτοσυνθετικά ενεργών φύλλων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.4. Η διατήρηση μεγαλύτερου αριθμού ενεργών φύλλων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την παραγωγή και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Η διατήρηση του ίδιου αριθμού ενεργά φωτοσυνθετικών φύλλων στα φυτά των δύο μεταχειρίσεων, οδήγησε σε παρόμοια αξιοποίηση του φωτός και των θρεπτικών στοιχείων από αυτά, ενώ δεν δημιούργησε την ανάγκη για διαφοροποίηση των καλλιεργητικών φροντίδων και ιδιαίτερα για γρηγορότερη αποφύλλωση των περισσότερο συμπαγή φυτών που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης.

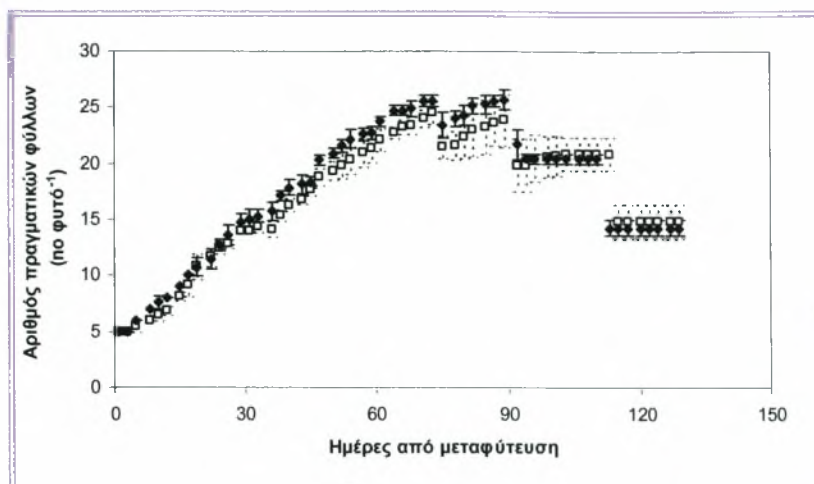
Τέλος, από το γράφημα 4.2.3 παρατηρούμε ότι πραγματοποιήθηκαν, κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, τρεις αποφυλλώσεις στις 21/12/2007, στις 07/01/2008 και στις 30/01/2008.



Σχήμα 4.2.2. Εξέλιξη του αριθμού των σχηματιζόμενων φύλλων (no φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



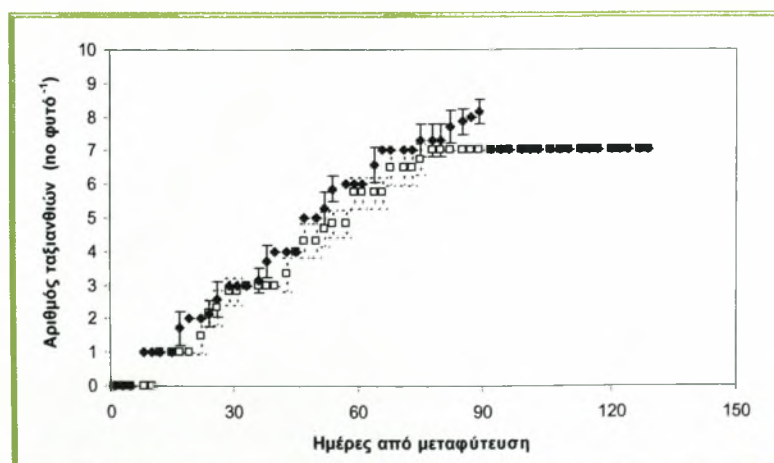
Σχήμα 4.2.3. Εξέλιξη του αριθμού των αφαιρούμενων φύλλων (no φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



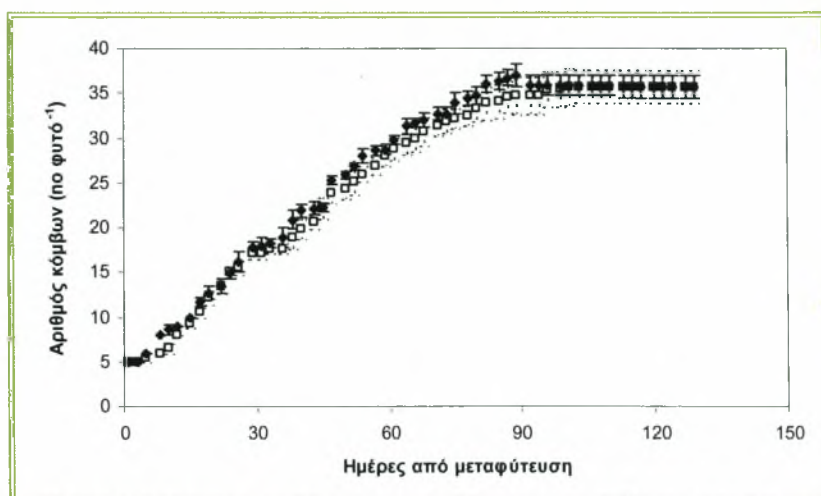
Σχήμα 4.2.4. Εξέλιξη του αριθμού των πραγματικών φύλλων (no φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.2.3. Αριθμός ταξιανθιών, κόμβων

Η εξέλιξη της εμφάνισης του αριθμού των ταξιανθιών καθώς και των κόμβων των φυτών τομάτας στα σχήματα 4.2.5 και 4.2.6 αποδεικνύει ότι δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο θερμοκηπίων σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, με εξαίρεση κάποιες ημέρες κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ της 17^{ης} και 33^{ης} μέτρησης. Σ' αυτές τις ημέρες του χρονικού διαστήματος τα φυτά του μάρτυρα (θερμοκήπιο 3) εμφανίζουν ταχύτερα τις ταξιανθίες τους έναντι των φυτών του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (θερμοκήπιο 1). Το γεγονός αυτό της διαφοράς του αριθμού των ταξιανθιών οφείλεται μάλλον στην ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών του θερμοκηπίου με επιδαπέδια θέρμανση. Όσον αφορά τη διαφορά στον αριθμό των κόμβων σίγουρα οφείλεται περισσότερο στη διαφορά του αριθμού των φύλλων αφού ο αριθμός των κόμβων ορίζεται ως το άθροισμα του αριθμού φύλλων και ταξιανθιών. Επίσης, φαίνεται ότι η τροποποίηση του μικροκλίματος στο επίπεδο της καλλιέργειας όπως αυτή παρουσιάστηκε και αναλύθηκε στις κλιματικές μετρήσεις δεν επηρέασε την ταχύτητα εμφάνισης των ταξιανθιών.



Σχήμα 4.2.5. Εξέλιξη του αριθμού των ταξιανθιών (no φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

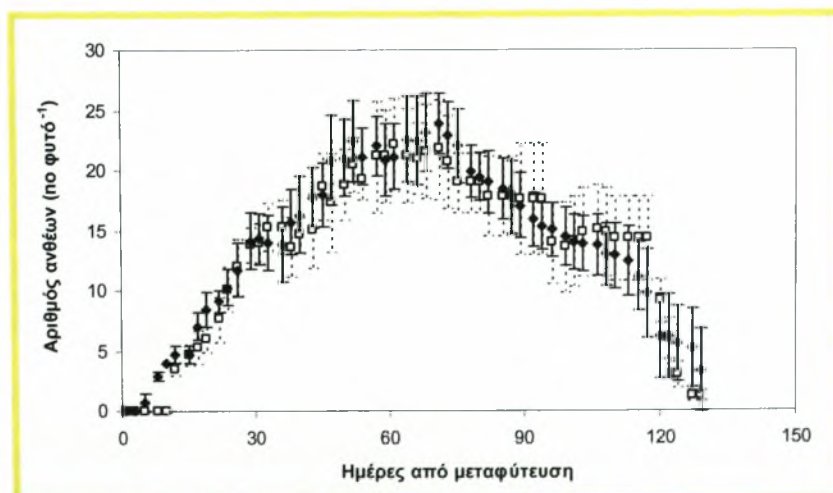


Σχήμα 4.2.6. Εξέλιξη του αριθμού των κόμβων (no φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.2.4. Αριθμός ανθέων και πράσινων καρπών

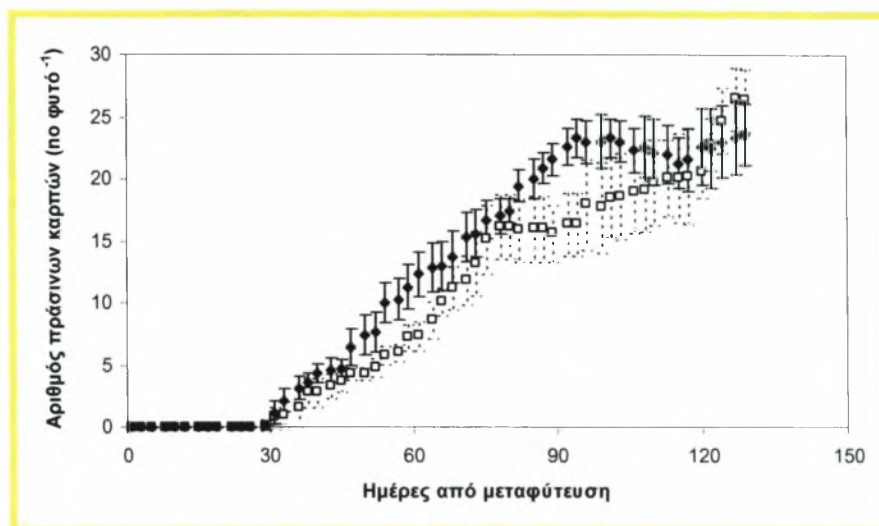
Η εξέλιξη της εμφάνισης των ανθέων των φυτών τομάτας (σχήμα 4.2.7) αποδεικνύει ότι δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά, όσον αφορά τα άνθη, μεταξύ των δυο θερμοκηπίων καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, με εξαίρεση κάποιες τυχαίες ημέρες στη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Σ' αυτές τις ημέρες τα φυτά του μάρτυρα (θερμοκήπιο 3) εμφανίζουν ταχύτερα τα άνθη τους έναντι των φυτών του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (θερμοκήπιο 1). Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην ταχύτερη εμφάνιση των ταξιανθιών των φυτών του θερμοκηπίου με επιδαπέδια θέρμανση. Επίσης, η υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα στο επίπεδο των φυτών δε διαφοροποίησε το άνοιγμα των λουλουδιών στην κάθε ταξιανθία μεταξύ των φυτών των δύο μεταχειρίσεων.

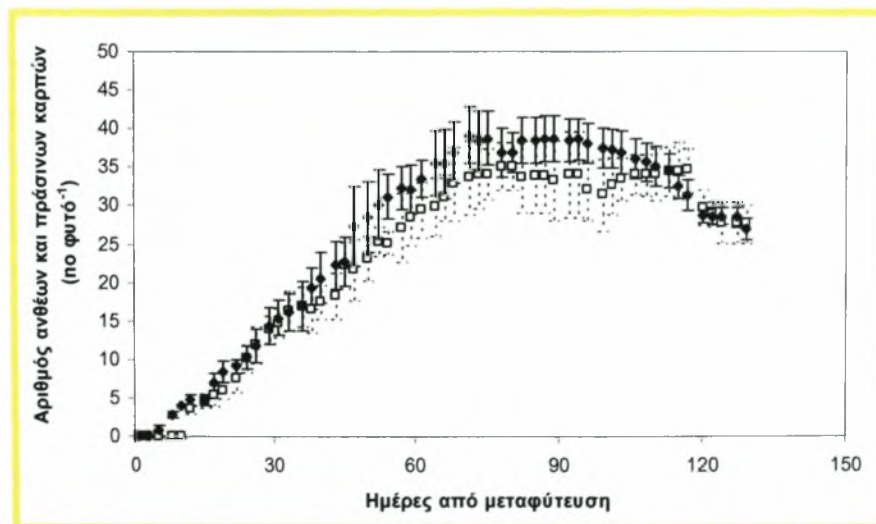


Σχήμα 4.2.7. Εξέλιξη του αριθμού των ανθέων (no φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

Όσον αφορά τη διαφορά στον αριθμό των πράσινων καρπών (σχήμα 4.2.8) παρατηρείται έντονα η διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η χρονική υστέρηση (οψίμιση) στην καρπόδεση των φυτών που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να οδηγήσει σε οψίμιση της παραγωγής της καλλιέργειας. Η διατήρηση ενός μικρότερου θερμοκρασιακού εύρους μεταξύ ημέρας και νύχτας όπως αυτό δημιουργήθηκε στην περιοχή της κόμης των φυτών με την εφαρμογή του παθητικού συστήματος θέρμανσης, μπορεί οδηγήσει στη καθυστέρηση ωρίμανσης της γύρης του φυτού και αποκόλληση της από τους ανθήρες που τελικά μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση της γονιμοποίησης του άνθους, της καρπόδεσης και στην εμφάνιση των πράσινων καρπών.



Σχήμα 4.2.8. Εξέλιξη του αριθμού των πράσινων καρπών (no φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



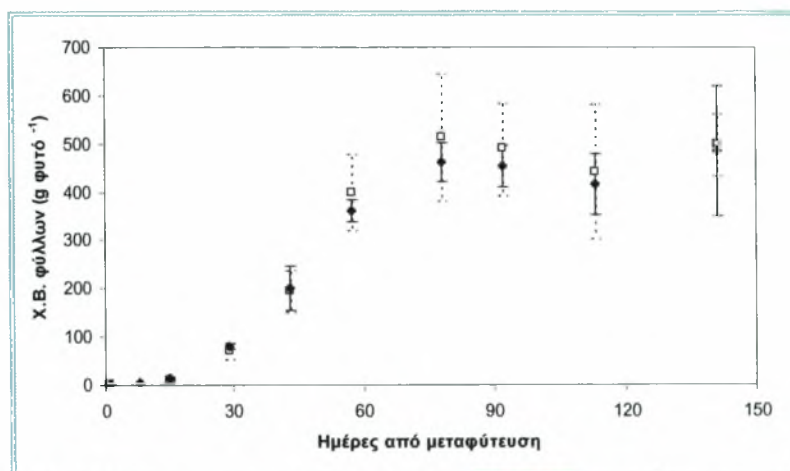
Σχήμα 4.2.9. Εξέλιξη του αριθμού των ανθέων και των πράσινων καρπών (no φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.3. Παραγωγή βιομάζας

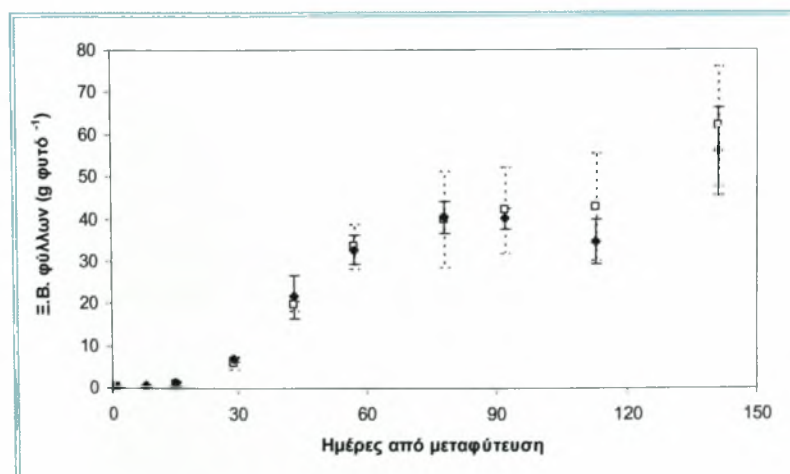
4.3.1. Χλωρό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων τόσο στο χλωρό και ξηρό βάρος των φύλλων όσο και σ' αυτό των βλαστών.

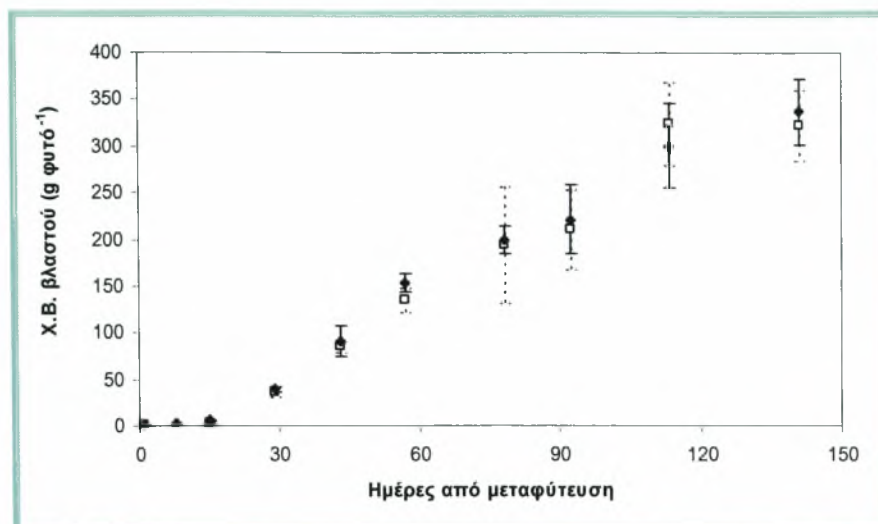
Η παραγόμενη από τα φυτά βιομάζα (φύλλα και βλαστοί) δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή του παθητικού συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου όπως φαίνεται από τα σχήματα 4.3.10, 4.3.11, 4.3.12 και 4.3.13. Η ανάπτυξη παρόμοιας φυλλικής επιφάνειας (σχήμα 4.3.14) από τα φυτά των δύο μεταχειρίσεων οδήγησε στη απορρόφηση και διαπνοή παρόμοιας ποσότητας νερού από την καλλιέργεια, όπως παρουσιάστηκε προηγούμενα στα σχήματα 4.1.12 και 4.1.13. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή φυτικών μερών (φύλλων και βλαστών) με τα ίδια χλωρά και ξηρά βάρη, εφόσον το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνταν η καλλιέργεια είχε την ίδια σύνθεση.



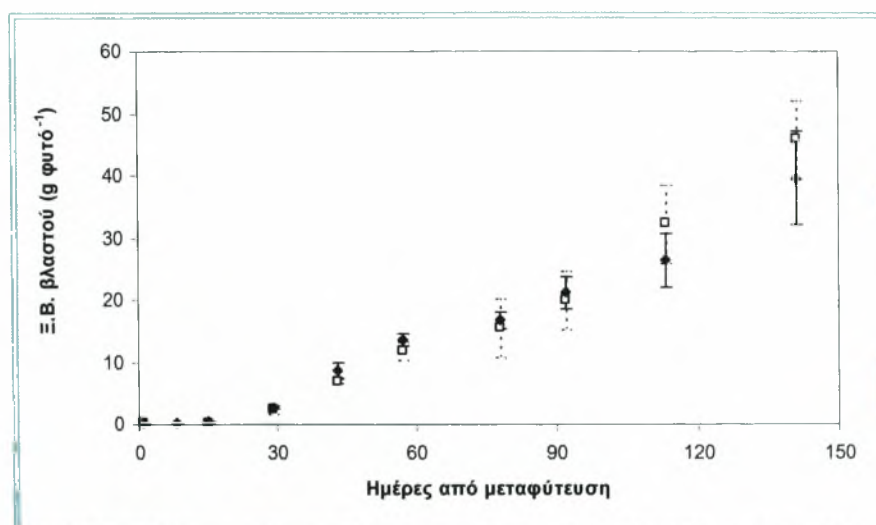
Σχήμα 4.3.10. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των φύλλων (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



Σχήμα 4.3.11. Εξέλιξη του ξηρού βάρους των φύλλων (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3



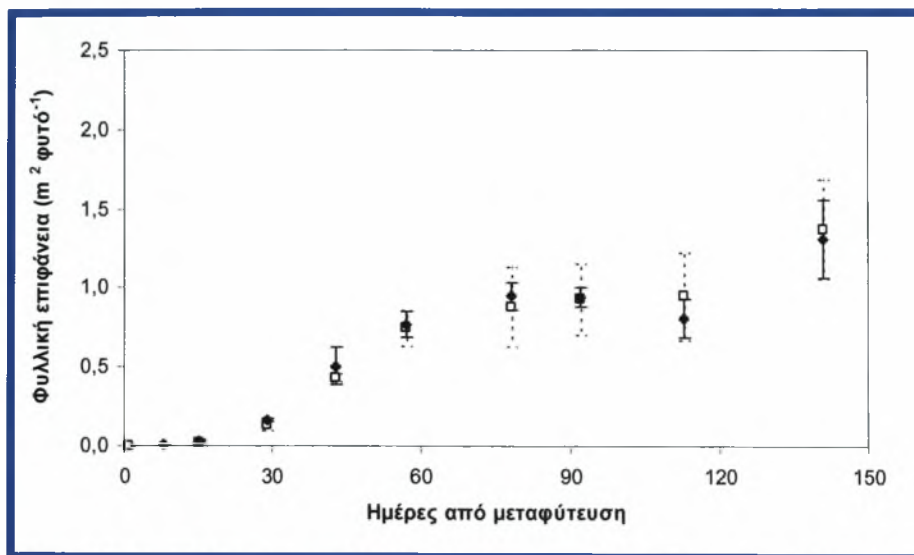
Σχήμα 4.3.12. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των βλαστών (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (\square) θερμοκήπιο 1, (\blacklozenge) θερμοκήπιο 3.



Σχήμα 4.3.13. Εξέλιξη του ξηρού βάρους των βλαστών (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (\square) θερμοκήπιο 1, (\blacklozenge) θερμοκήπιο 3.

4.3.2. Φυλλική επιφάνεια

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος παρατηρήθηκε επίσης ότι δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων και στη φυλλική επιφάνεια. Η φυλλική επιφάνεια είναι ανάλογη του αριθμού των πραγματικών φύλλων καθώς και του χλωρού και ξηρού βάρους αυτών. Συνεπώς, αφού δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον αριθμό και στο βάρος των φύλλων είναι αναμενόμενο ότι δε θα υπάρχουν και στη φυλλική επιφάνεια.

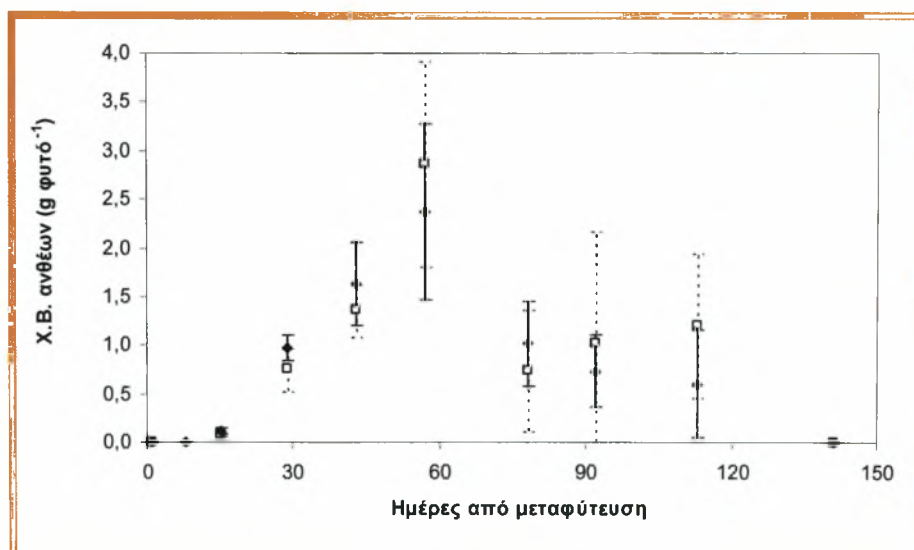


Σχήμα 4.3.14. Εξέλιξη της φυλλικής επιφάνειας ($\text{m}^2 \text{φυτό}^{-1}$) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

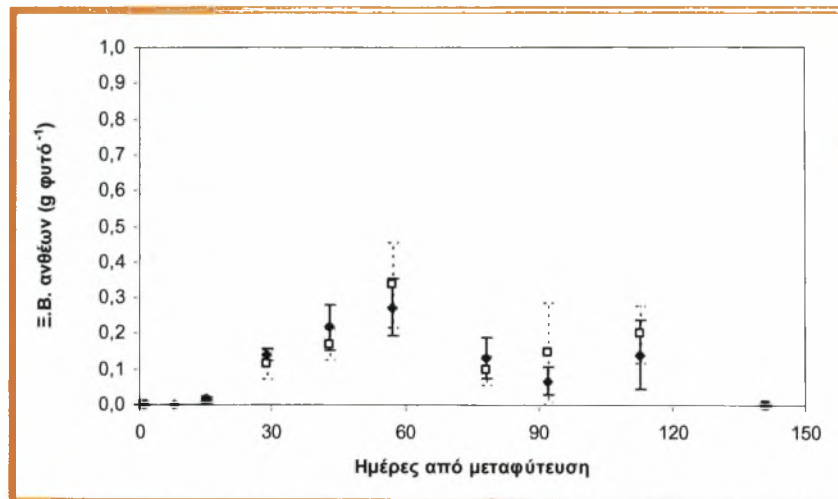
4.3.3. Χλωρό και ξηρό βάρος ανθέων και καρπών

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων τόσο στο χλωρό και ξηρό βάρος των ανθέων όσο και σ' αυτό των καρπών.

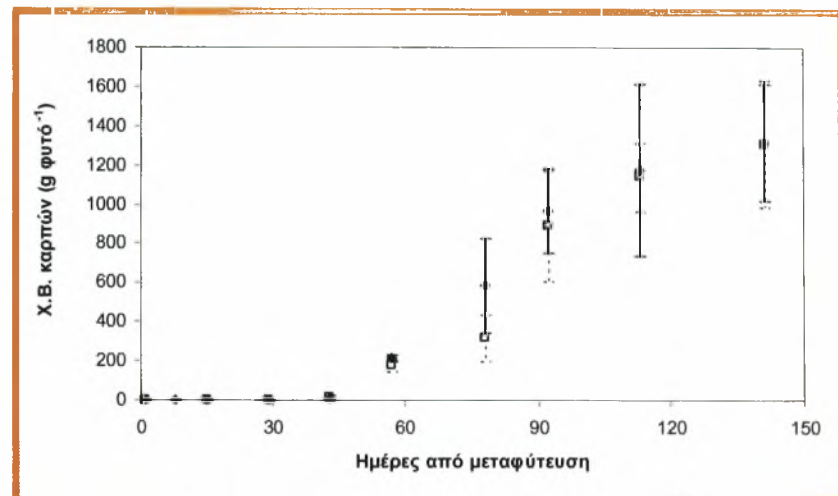
Κάποιες μικρές διαφορές που εμφανίζονται, με τα φυτά του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης να υστερούν χρονικά στην καρπόδεση, πιθανόν να οφείλονται τόσο στην καθυστέρηση της γονιμοποίησης και της εμφάνισης καρπών στην κάθε ταξιανθία, όσο και στη επικράτηση μικρότερου θερμοκρασιακού εύρους κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των καρπών. Η καθυστέρηση ωστόσο που παρατηρείται κατά την ωρίμανση των καρπών μπορεί να συνεισφέρει στην ποιοτική αναβάθμισή τους.



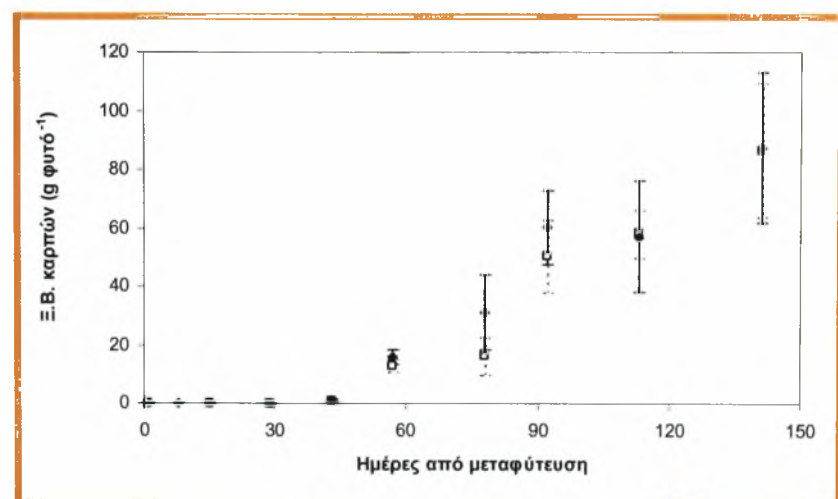
Σχήμα 4.3.15. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των ανθέων (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



Σχήμα 4.3.16. Εξέλιξη του ξηρού βάρους των ανθέων (g φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



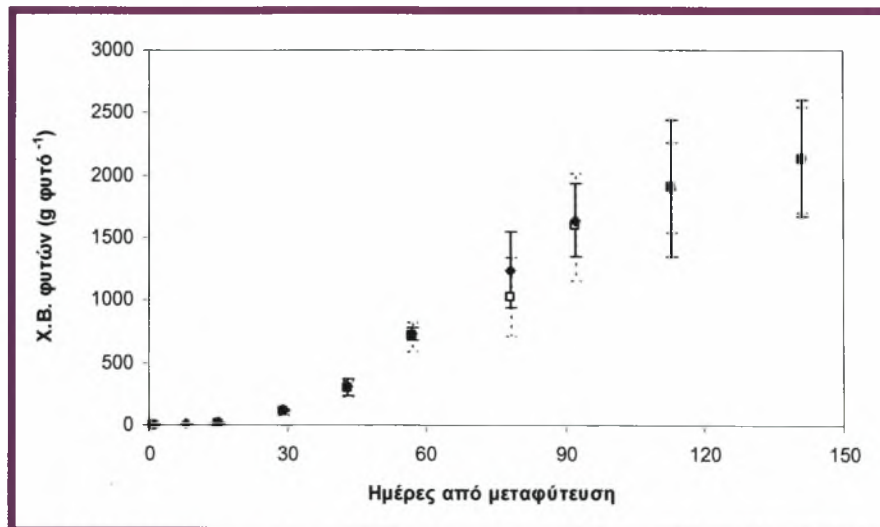
Σχήμα 4.3.17. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των καρπών (g φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



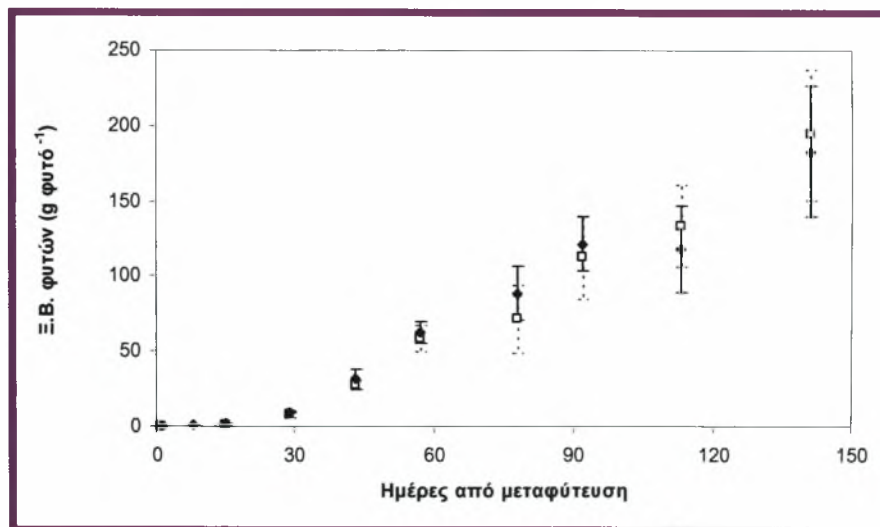
Σχήμα 4.3.18. Εξέλιξη του ξηρού βάρους των καρπών (g φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.3.4. Συνολικό χλωρό και ξηρό βάρος φυτού τομάτας

Τέλος, όπως ήταν αναμενόμενο δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκηπίων τόσο στο χλωρό όσο και ξηρό βάρος των φυτών συνολικά. Μια μικρή διαφορά που παρατηρείται στην τελευταία μέτρηση πιθανόν να είναι τυχαία.



Σχήμα 4.3.19. Εξέλιξη του χλωρού βάρους του φυτού (g φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



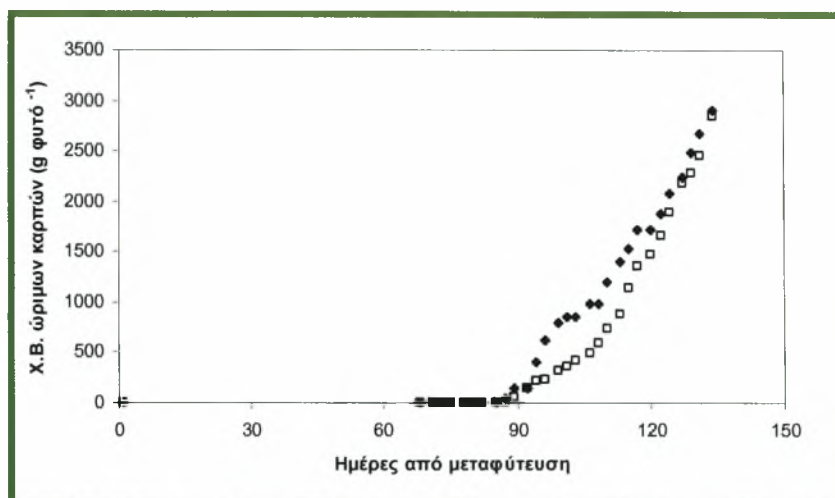
Σχήμα 4.3.20. Εξέλιξη του ξηρού βάρους του φυτού (g φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

4.4. Παραγωγή καρπών

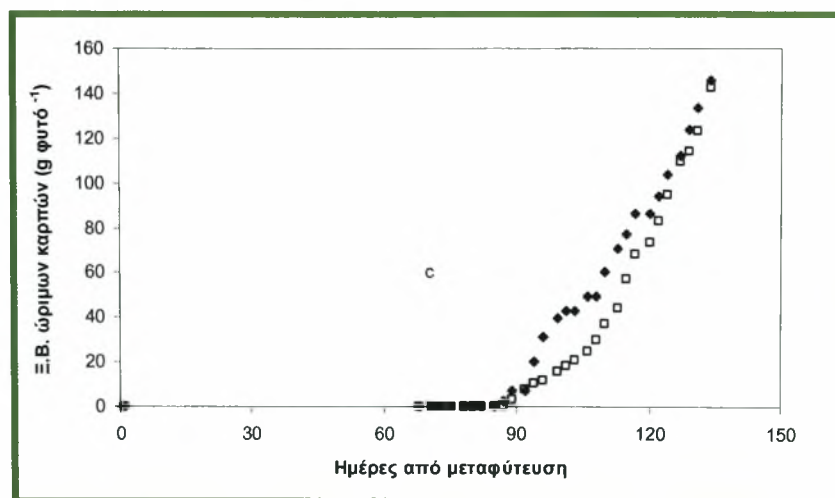
4.4.1. Χλωρό και ξηρό βάρος ώριμων καρπών

Μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας οι ώριμοι καρποί από τα φυτά και των δύο θερμοκηπίων είχαν ίδιο χλωρό και ξηρό βάρος. Στο μέσο περίπου του πειράματος παρατηρήθηκαν κάποιες διαφορές μεταξύ των φυτών στα δυο θερμοκήπια που πιθανόν να οφείλονταν στη ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών του μάρτυρα.

Η καθυστέρηση της παραγωγής ώριμων καρπών συνεπάγεται και μια χρονική καθυστέρηση στη παραγωγή χλωρού (εμπορεύσιμου) και ξηρού βάρους των ώριμων καρπών όπως φαίνεται στα σχήματα 4.4.21 και 4.4.22 αντίστοιχα. Η συνολικά ωστόσο παραγόμενη ποσότητα εμπορεύσιμων καρπών για τη συγκεκριμένη περίοδο ήταν η ίδια. Το συνολικό επίσης ξηρό βάρος των καρπών ήταν το ίδιο μετά το τέλος της συγκεκριμένης πειραματικής περιόδου που συνεπάγεται ότι και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών ενδεχομένως ήταν τα ίδια.



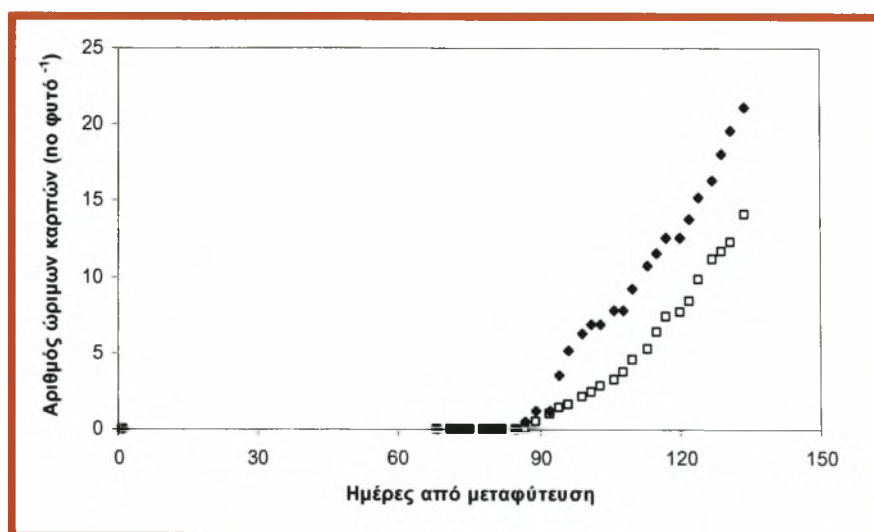
Σχήμα 4.4.21. Εξέλιξη του χλωρού βάρους των ώριμων καρπών (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (♦) θερμοκήπιο 3.



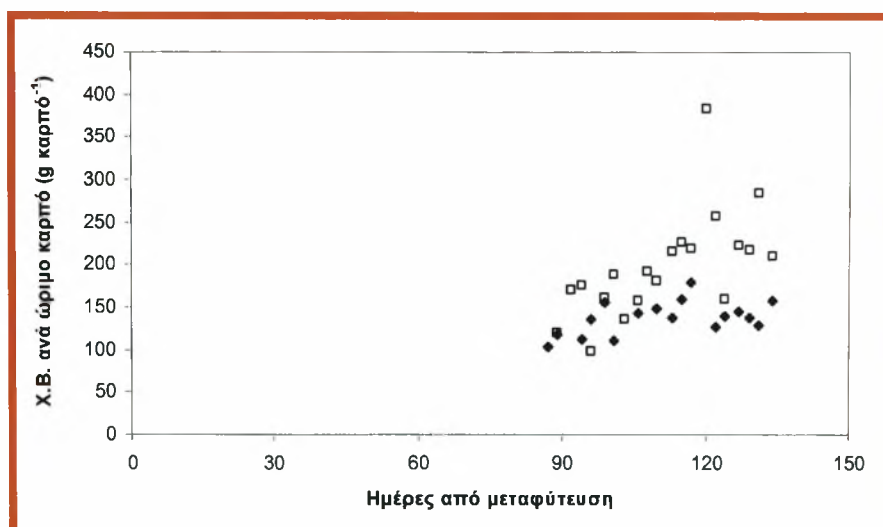
Σχήμα 4.4.22. Εξέλιξη του ξηρού βάρους των ώριμων καρπών (g φυτό^{-1}) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (♦) θερμοκήπιο 3.

4.4.2. Αριθμός και μέσο βάρος ώριμων καρπών

Παρατηρείται ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης παρήγαγαν συνολικά λιγότερους καρπούς από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με την επιδαπέδια θέρμανση. Συγκρίνοντας λοιπόν τα αποτελέσματα των σχημάτων 4.4.21 και 4.4.23 συμπαίρνουμε ότι τα φυτά του παθητικού συστήματος θέρμανσης μπορεί να παρήγαγαν συνολικά λιγότερους καρπούς αλλά ήταν μεγαλύτεροι. Το τελευταίο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ποιοτικό κριτήριο για την παραγωγή τομάτας.



Σχήμα 4.4.23. Εξέλιξη του αριθμού των ώριμων καρπών (no φυτό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.



Σχήμα 4.4.24. Χλωρό βάρος ανά ώριμο καρπό (g καρπό⁻¹) κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου (□) θερμοκήπιο 1, (◆) θερμοκήπιο 3.

Κεφάλαιο 5^ο. Συμπεράσματα



5.1. Κλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων

Σύμφωνα με την ανάλυση των παραπάνω γραφημάτων τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

5.1.1. Μετρήσεις θερμοκρασίας νερού σωλήνων παθητικού ηλιακού συστήματος

Το γεγονός αυτό ότι η μεταφύτευση της καλλιέργειας έγινε στις αρχές Οκτωβρίου και ότι, από το τέλος Νοεμβρίου και μετά, η καλλιέργεια τομάτας είχε μέσο ύψος μεγαλύτερο από 0.5 m. συνέβαλε στη σκίαση των σωλήνων και σε συνδυασμό με τα χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας στη μειωμένη αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Επίσης, συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η τιμή της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από τους σωλήνες, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η διαφορά θερμοκρασίας του νερού μεταξύ ημέρας και νύχτας και συνεπώς, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που αποθηκεύονταν στο παθητικό ηλιακό σύστημα.

Τέλος, φαίνεται ότι η απαραίτητη ισχύς προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη στην περίπτωση του θερμοκηπίου με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης.

5.1.2. Μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα θερμοκηπίου και διάτρητου σωλήνα

Παρόλο που η θερμοκρασία του αέρα ήταν παρόμοια στα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων το θερμοκήπιο με το παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης απαιτούσε λιγότερη ισχύ προκειμένου να επιτευχθούν σε αυτό παρόμοιες τιμές θερμοκρασίας με το θερμοκήπιο μάρτυρα.

Επιπλέον κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αέρας θερμαινόταν κατά την κίνησή του μέσα στον διάτρητο σωλήνα, πιθανόν λόγω της άμεσης επαφής του αεραγωγού με τον σωλήνα αποθήκευσης του νερού του παθητικού ηλιακού συστήματος, και έτσι ο αέρας εξερχόταν του αεραγωγού στο αντίθετο άκρο κατά μέσο όρο κατά 1°C θερμότερος.

5.2. Ανάπτυξης φυτών τομάτας

5.2.1. Μήκος φυτών τομάτας

Όσον αφορά το μήκος των φυτών τομάτας των δυο θερμοκηπίων η διαφορά τους οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά με το παθητικό σύστημα θέρμανσης είχαν μάλλον μικρότερο μήκος μεσογονατίων διαστημάτων, καθώς ο αριθμός των κόμβων των φυτών ήταν παρόμοιος και στις δύο περιπτώσεις. Όσον αφορά το μήκος των φυτών τομάτας των δυο θερμοκηπίων η διαφορά τους οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά με το παθητικό σύστημα θέρμανσης είχαν μάλλον μικρότερο μήκος μεσογονατίων διαστημάτων, καθώς ο αριθμός των κόμβων των φυτών ήταν παρόμοιος και στις δύο περιπτώσεις.

Επίσης, η διαφορά μπορεί να οφείλεται και στην καθυστέρηση της εγκατάστασης του συστήματος θέρμανσης καθώς και στην καταπόνηση των φυτών κατά τη διάρκεια τοποθέτησής του.

Πιθανόν για τους παραπάνω λόγους, τα φυτά με την επιδαπέδια θέρμανση (μάρτυρας) να αναπτύχθηκαν ταχύτερα.

5.2.2. Αριθμός σχηματιζόμενων, αφαιρούμενων και πραγματικών φύλλων

Το γεγονός ότι τα φυτά του μάρτυρα (θερμοκήπιο 3) παρουσιάζουν ταχύτερη έκπτυξη φύλλων έναντι των φυτών του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης (θερμοκήπιο 1) σε συνδυασμό με το μικρότερο μέγεθος των φυτών στο θερμοκήπιο 1 δεν περιόρισε τον αριθμό των πραγματικών φύλλων δηλαδή, των φωτοσυνθετικά ενεργών φύλλων. Είναι γνωστό ότι η διατήρηση μεγαλύτερου αριθμού ενεργών φύλλων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την παραγωγή και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Στην περίπτωση μας η διατήρηση του ίδιου αριθμού ενεργά φωτοσυνθετικών φύλλων στα φυτά των δύο μεταχειρίσεων, οδήγησε σε παρόμοια αξιοποίηση του φωτός και των θρεπτικών στοιχείων από αυτά, ενώ δεν δημιούργησε την ανάγκη για διαφοροποίηση των καλλιεργητικών φροντίδων και ιδιαίτερα για γρηγορότερη αποφύλλωση των περισσότερο συμπαγή φυτών που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης

5.2.3. Αριθμός ταξιανθιών, κόμβων

Η εμφάνιση περισσότερων ταξιανθιών στα φυτά του μάρτυρα οφείλεται αποκλειστικά στην ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών.

Επίσης, η διαφορά στον αριθμό των κόμβων οφείλεται περισσότερο στην διαφορά του αριθμού των φύλλων, αφού ο αριθμός των κόμβων ορίζεται ως το άθροισμα του αριθμού των φύλλων καθώς και αυτού των ταξιανθιών.

Τέλος, φαίνεται ότι η τροποποίηση του μικροκλίματος στο επίπεδο της καλλιέργειας, όπως αυτή παρουσιάστηκε και αναλύθηκε στις κλιματικές μετρήσεις δεν επηρέασε την ταχύτητα εμφάνισης των ταξιανθιών.

5.2.4. Αριθμός ανθέων και πράσινων καρπών

Η ταχύτερη εμφάνιση ανθέων των φυτών του μάρτυρα (θερμοκήπιο 3) οφείλεται στην ταχύτερη εμφάνιση των ταξιανθιών των φυτών του θερμοκηπίου με επιδαπέδια θέρμανση. Επίσης, η υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα στο επίπεδο των φυτών δε διαφοροποίησε το άνοιγμα των λουλουδιών στην κάθε ταξιανθία μεταξύ των φυτών των δύο μεταχειρίσεων.

Τέλος, η χρονική υστέρηση (οψίμιση) στην καρπόδεση των φυτών που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης μπορεί να οδηγήσει σε οψίμιση της παραγωγής της καλλιέργειας. Η διατήρηση ενός μικρότερου θερμοκρασιακού εύρους μεταξύ ημέρας και νύχτας όπως αυτό δημιουργήθηκε στην περιοχή της κόμης των φυτών με την εφαρμογή του παθητικού συστήματος θέρμανσης, μπορεί οδηγήσει στη καθυστέρηση ωρίμανσης της γύρης του φυτού και αποκόλληση της από τους ανθήρες που τελικά μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση της γονιμοποίησης του άνθους, της καρπόδεσης και στην εμφάνιση των πράσινων καρπών.

5.3. Παραγωγής βιομάζας

5.3.1. Χλωρό και ξηρό βάρος φύλλων και βλαστών

Η εφαρμογή του παθητικού συστήματος θέρμανσης δεν επηρέασε την παραγόμενη από τα φυτά βιομάζα (φύλλα και βλαστοί). Η ανάπτυξη παρόμοιας φυλλικής επιφάνειας από τα φυτά των δύο μεταχειρίσεων οδήγησε στη απορρόφηση και διαπνοή παρόμοιας ποσότητας νερού από την καλλιέργεια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή φυτικών μερών (φύλλων και βλαστών) με τα ίδια χλωρά και ξηρά βάρη, εφόσον το θρεπτικό διάλυμα με το οποίο τροφοδοτούνταν η καλλιέργεια είχε την ίδια σύνθεση.

5.3.2. Φυλλική επιφάνεια

Η φυλλική επιφάνεια δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω του ότι δεν υπήρξαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στον αριθμό και στο βάρος των φύλλων, αφού η φυλλική επιφάνεια είναι ανάλογη του αριθμού των πραγματικών φύλλων καθώς και του χλωρού και ξηρού βάρους αυτών.

5.3.3. Χλωρό και ξηρό βάρος ανθέων και καρπών

Κάποιες μικρές διαφορές που εμφανίζονται, με τα φυτά του θερμοκηπίου με το παθητικό σύστημα θέρμανσης να υστερούν χρονικά στην καρπόδεση, πιθανόν να οφείλονται τόσο στην καθυστέρηση της γονιμοποίησης και της εμφάνισης καρπών στην κάθε ταξιανθία, όσο και στη επικράτηση μικρότερου θερμοκρασιακού εύρους κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των καρπών. Η καθυστέρηση ωστόσο που παρατηρείται κατά την ωρίμανση των καρπών μπορεί να συνεισφέρει στην ποιοτική αναβάθμισή τους.

5.3.4. Συνολικό χλωρό και ξηρό βάρος φυτού τομάτας

Αθροίζοντας τα επιμέρους βάρη που αναλύσαμε παραπάνω, καταλήγουμε στο γεγονός ότι το συνολικό βάρος των φυτών, τόσο το χλωρό όσο και το ξηρό, και των δυο θερμοκηπίων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

5.4. Παραγωγής καρπών

5.4.1. Χλωρό και ξηρό βάρος ώριμων καρπών

Είναι γνωστό ότι η καθυστέρηση της παραγωγής ώριμων καρπών συνεπάγεται και μια χρονική καθυστέρηση στη παραγωγή χλωρού (εμπορεύσιμου) και ξηρού βάρους των ώριμων καρπών. Στη δική μας περίπτωση η συνολικά ωστόσο παραγόμενη ποσότητα εμπορεύσιμων καρπών για τη συγκεκριμένη περίοδο ήταν η ίδια.

Το συνολικό επίσης ξηρό βάρος των καρπών ήταν το ίδιο μετά το τέλος της συγκεκριμένης πειραματικής περιόδου που συνεπάγεται ότι και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των καρπών ενδεχομένως ήταν τα ίδια.

5.4.2. Αριθμός και μέσο βάρος ώριμων καρπών

Παρατηρήθηκε ότι τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με το παθητικό σύστημα θέρμανσης παρήγαγαν συνολικά λιγότερους καρπούς από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο θερμοκήπιο με την επιδαπέδια θέρμανση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το συνολικό βάρος των φυτών στα δυο θερμοκήπια μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα φυτά του παθητικού συστήματος θέρμανσης μπορεί να παρήγαγαν συνολικά λιγότερους καρπούς αλλά ήταν μεγαλύτεροι. Το τελευταίο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ποιοτικό κριτήριο για την παραγωγή τομάτας.

Βιβλιογραφία



1. Ανώνυμος, 1999. Γεωργία – Κτηνοτροφία τεύχος 9, 11/1999.
2. Ανώνυμος, 2007. Γεωργία – Κτηνοτροφία τεύχος 10/2007.
3. Γραφιαδέλλης, Μ., 1987. Σύγχρονα θερμοκήπια. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσ/νίκη. σελ: 86 - 88
4. Δημητρακάκης, Γ.Κ., 1998. Λαχανοκομία. Εκδόσεις Αγρότυπος. Αθήνα. σελ:224 – 226
5. Λύκας, Χ., 2007. Σημειώσεις. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
6. Μαυρογιαννόπουλος, Γ., 1990. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλης. Πειραιάς. σελ: 73 – 85.
7. Ολυμπίου, Χ.Μ., 1990. Η τεχνική της καλλιέργειας της τομάτας στο θερμοκήπιο. Αθήνα.
8. Ολυμπίου, Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα. σελ: 28 – 29.
- 9.
10. Ben Amor H., Salhi M., Ben Zid A., 1990. First results of heating greenhouses by a passive solar system in Gafsa (south-west of Tunisia). *ISHS Acta Horticulturae*, **263**, International Symposium on Simple Ventilation and Heating Methods for Greenhouses in Mild Winter Climates.
11. Bouam M., Gerasopoulos D., and Grafiadellis M.. The effect of the passive solar heating system and of the kind of covering material on yield and quality of melons cultivated in low tunnels, *Cahiers Options Mediterraneennes*; **31**:145-149
12. Chen W., Liu W., 2004. Numerical and experimental analysis of convection heat transfer in passive solar heating room with greenhouse and heat storage, *Solar Energy*; **76**(5):623-633.
13. Grafiadellis M.. Development of a passive solar system for heating greenhouses, *ISHS Acta Horticulturae*; **191**, Symposium on Protected Cultivation of Solanacea in Mild Winter Climates.
14. Grafiadellis M., Spanomitsios G., Mattas K.. Recent developments introduced in the passive solar system for heating greenhouses, *ISHS Acta Horticulturae*; **263**, International Symposium on Simple Ventilation and Heating Methods for Greenhouses in Mild Winter Climates.
15. Mattas K., Grafiadellis M.. Assessing income benefits in protected cultivation when energy saving technology is introduced, *ISHS Acta Horticulturae*; **245**, Engineering and Economic Aspects of Energy Saving in Protected Cultivation.
16. Mavrogianopoulos G. N., Kyritsis S., 1993. Analysis and performance of a greenhouse with water filled passive solar sleeves, *Agricultural and forest meteorology*; **65**(1-2):47-61.
17. Pavlou G. Ch.. Evaluation of thermal performance of water-filled polyethylene tubes used for passive solar greenhouse heating, *ISHS Acta Horticulturae*; **287**, II International Symposium on Protected Cultivation of Vegetables in Mild Winter Climates.
18. Santamouris M., Argiriou A., Vallindras M., 1994. Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse, *Solar energy*; **52**(5):371-778.
19. Santamouris M., Balaras C. A., Dascalaki E. Vallindras M., 1994. Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes, *Solar energy* ; **53**(5):411-426.
20. Saravia L., Echazu R., Cadena C., Condori M. and Cabanillas C., 1997. Greenhouse solar heating in the Argentinian northwest, *Renewable Energy*; **11**(1):119-128.

21. Traka-Mavrona E., Bletsos F., Grafiadellis M., Spanomitsios G.. Tomato fruit sets under three different greenhouse heating conditions, *ISHS Acta Horticulturae*; **462**, I Balkan Symposium On Vegetables and Potatoes.
22. <http://www.agrolik.gr/index.php>
23. www.ab.gr
24. www.protinews.gr
25. www.agrek.gr
26. www.biotech.aua.gr
27. www.hydroponicfarm.gr
28. www.smetonline.gr
29. <http://ape.chania.teicrete.gr/ape/epipedos-sylektis/rathitikanf.htm>
30. www.compo.gr

Παράρτημα



	Μήκος φυτών		
	St. Error.	Sig.	
1	0,759	0,001	
2	0,807	0,003	
3	0,890	0,169	
4	0,874	0,352	
5	0,797	0,910	
6	0,739	0,133	
7	0,933	0,007	
8	0,688	0,000	
9	0,963	0,000	
10	0,962	0,000	
11	1,154	0,000	
12	1,206	0,000	
13	1,714	0,000	
14	1,692	0,000	
15	1,836	0,000	
16	1,934	0,000	
17	1,556	0,000	
18	1,452	0,000	
19	2,474	0,000	
20	2,550	0,000	
21	2,783	0,000	
22	3,098	0,000	
23	3,256	0,000	
24	3,715	0,000	
25	4,392	0,000	
26	2,673	0,000	
27	3,144	0,000	
28	4,002	0,000	
29	4,093	0,000	
30	4,289	0,000	
31	4,343	0,000	
32	4,285	0,000	
33	4,570	0,000	
34	4,498	0,000	
35	4,327	0,000	
36	4,124	0,000	
37	4,865	0,000	
38	5,364	0,000	
39	5,943	0,000	
40	6,182	0,001	
41	6,209	0,002	
42	6,250	0,005	
43	6,250	0,005	
44	6,250	0,005	
45	6,250	0,005	
46	6,250	0,005	
47	6,250	0,005	
48	6,250	0,005	
49	6,250	0,005	
50	6,250	0,005	
51	6,250	0,005	
52	6,250	0,005	
53	6,250	0,005	
54	6,250	0,005	
55	6,250	0,005	
56	6,250	0,005	
: παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05)		: δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05)	

	Αριθμός σχηματιζόμενων φύλλων			Αριθμός νεκρών φύλλων			Αριθμός πραγματικών φύλλων		
	St. Error.	Sig.		St. Error.	Sig.		St. Error.	Sig.	
1	0,000	,		0,000	,		0,000	,	
2	0,000	,		0,000	,		0,000	,	
3	0,197	0,007		0,000	,		0,197	0,007	
4	0,000	,		0,000	,		0,000	,	
5	0,272	0,001		0,000	,		0,272	0,001	
6	0,134	0,000		0,134	0,369		0,000	,	
7	0,134	0,000		0,134	0,369		0,176	0,001	
8	0,414	0,002		0,176	0,179		0,197	0,007	
9	0,481	0,182		0,176	0,179		0,391	0,478	
10	0,331	0,006		0,176	0,179		0,368	0,247	
11	0,343	0,008		0,176	0,179		0,246	0,887	
12	0,376	0,000		0,176	0,179		0,368	0,247	
13	0,298	0,069		0,176	0,179		0,331	0,323	
14	0,317	0,016		0,176	0,179		0,348	0,096	
15	0,261	0,004		0,176	0,179		0,261	0,025	
16	0,360	0,001		0,287	0,105		0,331	0,006	
17	0,505	0,002		0,287	0,105		0,544	0,024	
18	0,553	0,005		0,287	0,105		0,589	0,038	
19	0,587	0,010		0,287	0,105		0,604	0,056	
20	0,664	0,075		0,287	0,105		0,695	0,279	
21	0,841	0,013		0,283	0,045		0,854	0,057	
22	0,893	0,016		0,283	0,045		0,918	0,064	
23	1,007	0,015		0,283	0,045		1,011	0,049	
24	1,097	0,020		0,337	0,044		1,082	0,069	
25	1,159	0,030		0,428	0,062		1,163	0,118	
26	0,524	0,024		0,428	0,062		0,475	0,346	
27	0,461	0,004		0,428	0,062		0,485	0,165	
28	0,319	0,000		0,428	0,062		0,438	0,027	
29	0,378	0,002		0,428	0,062		0,554	0,138	
30	0,424	0,004		0,448	0,126		0,527	0,179	
31	0,343	0,001		0,448	0,126		0,414	0,063	
32	0,447	0,032		0,448	0,126		0,438	0,452	
33	0,532	0,003		0,448	0,126		0,529	0,042	
34	0,495	0,000		0,448	0,126		0,473	0,004	
35	0,663	0,013		0,448	0,126		0,629	0,084	
36	0,823	0,022		0,448	0,126		0,794	0,088	
37	0,824	0,028		0,448	0,126		0,794	0,125	
38	0,754	0,023		0,448	0,126		0,752	0,130	
39	0,888	0,059		0,448	0,126		0,889	0,235	
40	0,934	0,071		0,448	0,126		0,889	0,235	
41	0,844	0,523		0,448	0,126		0,889	0,235	
42	0,844	0,523		0,448	0,126		0,846	0,578	
43	0,728	0,923		0,448	0,126		0,847	0,680	
44	0,629	0,618		0,448	0,126		0,870	0,794	
45	0,629	0,618		0,448	0,126		0,791	0,894	
46	0,629	0,618		0,448	0,126		0,791	0,894	
47	0,629	0,618		0,448	0,126		0,791	0,894	
48	0,629	0,618		0,448	0,126		0,791	0,894	
49	0,657	0,000		0,448	0,126		0,824	0,966	
50	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
51	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
52	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
53	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
54	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
55	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
56	0,580	0,328		0,548	0,331		0,824	0,966	
: παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05)				: δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05)					

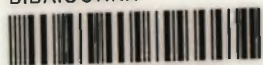
	Αριθμός ταξιανθιών			Αριθμός κόμβων			Αριθμός ανθέων			Αριθμός πράσινων καρπών		
	St.Error.	Sig.		St.Error.	Sig.		St.Error.	Sig.		St.Error.	Sig.	
1	0,000	,		0,000	,		0,000	,		0,000	,	
2	0,000	,		0,000	,		0,000	,		0,000	,	
3	0,000	,		0,197	0,007		0,266	0,019		0,000	,	
4	0,000	,		0,000	,		0,133	0,000		0,000	,	
5	0,000	,		0,272	0,000		0,000	,		0,000	,	
6	0,000	,		0,134	0,000		0,388	0,004		0,000	,	
7	0,000	,		0,134	0,000		0,441	0,635		0,000	,	
8	0,172	0,001		0,360	0,001		0,634	0,016		0,000	,	
9	0,172	0,001		0,475	0,063		0,619	0,001		0,000	,	
10	0,266	0,435		0,368	0,425		0,737	0,023		0,000	,	
11	0,220	0,635		0,300	0,726		0,805	0,728		0,000	,	
12	0,272	0,483		0,415	0,051		1,124	0,938		0,000	,	
13	0,134	0,369		0,334	0,052		0,961	0,884		0,189	0,926	
14	0,134	0,369		0,352	0,014		0,934	0,667		0,399	0,514	
15	0,000	,		0,261	0,004		1,055	0,360		0,473	0,031	
16	0,312	0,121		0,544	0,002		2,072	0,774		0,587	0,023	
17	0,246	0,002		0,623	0,001		1,704	0,063		0,532	0,065	
18	0,176	0,000		0,648	0,000		1,801	0,091		0,483	0,004	
19	0,287	0,004		0,742	0,003		1,898	0,035		0,509	0,014	
20	0,352	0,179		0,946	0,082		2,315	0,403		0,388	0,015	
21	0,442	0,014		1,212	0,010		2,601	0,035		0,596	0,003	
22	0,442	0,014		1,233	0,010		2,613	0,066		0,629	0,000	
23	0,461	0,026		1,375	0,012		2,542	0,075		0,687	0,001	
24	0,462	0,004		1,450	0,008		2,209	0,062		0,758	0,000	
25	0,442	0,002		1,544	0,011		2,816	0,192		0,772	0,000	
26	0,176	0,179		0,543	0,012		1,806	0,831		0,742	0,000	
27	0,176	0,179		0,503	0,003		1,756	0,586		0,777	0,000	
28	0,257	0,007		0,485	0,000		1,954	0,511		0,893	0,000	
29	0,176	0,000		0,441	0,000		1,709	0,418		0,823	0,004	
30	0,203	0,029		0,532	0,003		1,865	0,430		0,983	0,026	
31	0,203	0,029		0,399	0,000		1,806	0,264		1,018	0,005	
32	0,203	0,029		0,532	0,011		1,772	0,256		1,194	0,074	
33	0,246	0,048		0,625	0,002		1,435	0,057		1,186	0,203	
34	0,172	0,120		0,524	0,000		1,208	0,491		1,101	0,441	
35	0,172	0,120		0,667	0,006		1,164	0,719		1,041	0,233	
36	0,172	0,001		0,823	0,004		1,565	0,485		1,061	0,005	
37	0,133	0,000		0,817	0,004		1,563	0,729		1,166	0,004	
38	0,000	,		0,757	0,002		1,651	0,924		1,101	0,001	
39	0,133	0,000		0,927	0,007		1,999	0,759		0,969	0,000	
40	0,000	,		0,934	0,071		1,930	0,376		1,089	0,000	
41	0,000	,		0,844	0,523		1,879	0,235		1,087	0,000	
42	0,000	,		0,728	0,923		1,505	0,518		1,505	0,006	
43	0,000	,		0,667	0,773		1,659	0,636		1,582	0,006	
44	0,000	,		0,629	0,618		1,642	0,940		1,342	0,003	
45	0,000	,		0,548	0,430		1,610	0,538		1,420	0,009	
46	0,000	,		0,548	0,430		1,683	0,458		1,431	0,039	
47	0,000	,		0,548	0,430		1,679	0,284		1,537	0,043	
48	0,000	,		0,548	0,430		1,641	0,372		1,601	0,159	
49	0,000	,		0,580	0,000		1,671	0,265		1,427	0,212	
50	0,000	,		0,580	0,328		1,654	0,073		1,521	0,459	
51	0,000	,		0,580	0,328		1,857	0,026		1,683	0,446	
52	0,000	,		0,580	0,328		1,390	0,051		1,343	0,171	
53	0,000	,		0,580	0,328		1,368	0,918		1,381	0,752	
54	0,000	,		0,580	0,328		1,181	0,049		1,446	0,248	
55	0,000	,		0,580	0,328		1,152	0,005		1,402	0,038	
56	0,000	,		0,580	0,328		1,226	0,121		1,297	0,050	
: παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05)						: δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05)						

	Χ.Β φύλλων				Ξ.Β φύλλων				Χ.Β βλαστών				Ξ.Β βλαστών		
	St.Error	Sig			St.Error	Sig			St.Error	Sig			St.Error	Sig	
1	0,043	1,000			0,007	1,000			0,109	1,000			0,015	1,000	
2	1,826	0,153			0,160	0,046			0,626	0,017			0,049	0,020	
3	8,430	0,306			0,785	0,318			3,450	0,572			0,304	0,443	
4	31,428	0,857			2,554	0,467			8,637	0,574			0,662	0,046	
5	41,087	0,383			3,114	0,799			8,228	0,074			0,913	0,108	
6	69,485	0,480			6,011	0,944			28,780	0,617			2,410	0,634	
7	52,828	0,513			5,235	0,704			28,342	0,740			2,691	0,674	
8	76,267	0,750			6,831	0,266			31,888	0,479			3,870	0,180	
9	74,799	0,869			8,738	0,506			25,707	0,611			4,918	0,252	
<div> <div> : παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05) </div> <div> : δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05) </div> </div>															

	Χ.Β ανθέων				Ξ.Β ανθέων				Χ.Β καρπών				Ξ.Β καρπών		
	St.Error	Sig			St.Error	Sig			St.Error	Sig			St.Error	Sig	
1	0,000	,			0,000	,			0,000	,			0,000	,	
2	0,020	0,129			0,004	0,207			0,000	,			0,000	,	
3	0,127	0,143			0,022	0,304			0,110	0,879			0,013	0,848	
4	0,251	0,327			0,037	0,250			8,342	0,593			0,501	0,543	
5	0,695	0,503			0,071	0,394			14,982	0,037			1,591	0,114	
6	0,384	0,493			0,043	0,252			135,587	0,102			7,249	0,088	
7	0,609	0,662			0,072	0,311			178,045	0,687			8,822	0,318	
8	0,462	0,242			0,063	0,358			235,939	0,889			10,344	0,924	
9	0,000	,			0,000	,			218,302	0,005			17,262	0,089	
<div> <div> : παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05) </div> <div> : δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05) </div> </div>															

	Χ.Β φυτού			Ξ.Β φυτού		
	St. Error	Sig		St. Error	Sig	
1	0,124	1,000		0,011	1,000	
2	2,373	0,076		0,197	0,028	
3	11,763	0,357		1,093	0,342	
4	39,814	0,874		3,068	0,315	
5	40,466	0,662		4,421	0,426	
6	137,531	0,153		10,568	0,170	
7	161,346	0,776		8,354	0,342	
8	202,469	0,940		11,405	0,227	
9	168,910	0,001		15,473	0,022	
<div> <div> : παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig<0,05) </div> <div> : δεν παρατηρείτε στατιστικώς σημαντική διαφορά (Sig>0,05) </div> </div>						

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000102426

